

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIELE UKAN

**ANÁLISE DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS POR FORMIGUEIROS DE *Atta
sexdens rubropilosa* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM
LABORATÓRIO E EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

CURITIBA

2011

DANIELE UKAN

**ANÁLISE DOS RESÍDUOS PRODUZIDOS POR FORMIGUEIROS DE *Atta sexdens rubropilosa* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM
LABORATÓRIO E EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais, Área de Concentração: Silvicultura.

Orientador: Prof. Dr. Nilton José Sousa.

Co-orientadores: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann
Dr^a. Valcineide O. de Andrade Tanobe

CURITIBA

2011

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Dedico

A Deus,

Ao meu marido Álvaro Gomes;

A minha família e a todos os meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida.

Ao Professor Dr. Nilton José Sousa, pela orientação nas atividades desenvolvidas, amizade, incentivo e confiança em mim depositada.

Ao Professor Dr. Carlos Bruno Reismann e a Dr^a. Valcineide O. A. Tanobe, pela co-orientação e companheirismo.

À Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e ao CNPq, pela oportunidade concedida para a execução dessa tese.

À equipe do Laboratório de Proteção Florestal da UFPR, Engenheiros Florestais Cláudio Cuarunha, Adriane Roglin, Karen Koch Fernandes de Sousa, David Buratto, Mahayana Zamprinho, aos estagiários de Engenharia Florestal Sérgio Luis Haliski, Randy Marcolino e, especialmente, à Claudiane Belinovksi pelo auxílio nas atividades diárias, amizade e colaboração.

À empresa Fibria, pela parceria para o desenvolvimento das atividades de pesquisa e auxílio nas atividades de campo, especialmente ao Engenheiro Florestal Roberto Baptista Nadal Junior pelo apoio e amizade.

A todos os Professores do curso de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, pela amizade e conhecimentos transmitidos.

Ao Dr^o Henrique Soares Koehler, Engenheiro Florestal e Professor da UFPR, pelos esclarecimentos em relação à análise dos dados experimentais.

A todos os Professores e colegas de trabalho da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela amizade, companheirismo e apoio.

A Itrópica Viveiro de Mudás, pela doação de parte das mudas do experimento.

Aos meus pais Nelson e Joceli, minha irmã Priscila, pela amizade e apoio nos momentos difíceis.

Ao meu marido Álvaro Gomes, pelo incentivo, paciência e colaboração para a conclusão deste curso.

A toda a minha família que sempre esteve presente me apoiando. Aos meus amigos, Roberta Bizinelli Neves, Marco Aurélio Neves, Allan Pizaia e Carla Ukan.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

DANIELE UKAN, filha de Nelson Darci Ukan e Joceli Vieira da Rosa Ukan, nasceu em 26 de setembro de 1981, na cidade de Curitiba – Paraná. Em 2001, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR e em 2005, formou-se Engenheiro Florestal. Em março de 2006, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – UFPR, concluindo o curso de mestrado em 2008, ano em que ingressou no doutorado. Em 2009 iniciou sua carreira profissional como professora na Universidade Estadual do Centro-Oeste. Desde o início da graduação vem atuando na área científica, desenvolvendo pesquisas relacionadas ao controle e ecologia de formigas cortadeiras, controle biológico de insetos e plantas, monitoramento e manejo de pragas.

RESUMO

As formigas cortadeiras são consideradas pragas florestais devido ao dano econômico que causam a estas culturas, porém, apesar de serem avaliadas pelo aspecto negativo na sua relação com o homem, as formigas cortadeiras exercem atividades de grande importância nos ambientes em que vivem. Devido à falta de informação sobre este aspecto ecológico das formigas cortadeiras, a premissa deste trabalho foi avaliar os resíduos produzidos por colônias de *Atta sexdens rubropilosa* em condições de laboratório e de campo. Em laboratório os materiais analisados foram amostras de folhas utilizadas para a alimentação das colônias e os resíduos produzidos pelos mesmos, na qual foi verificada a qualidade química de ambos. Os dados de campo foram obtidos de amostras de solos com a presença de formigueiros e na ausência destes, em plantios de *Eucalyptus grandis*. Os resultados encontrados em laboratório foram: o forrageamento realizado por colônias adultas de *A. sexdens rubropilosa* foi de aproximadamente 900 gramas/ano e as colônias jovens de 124 gramas/ano. O fator de conversão realizado por estas colônias supridas com *E. grandis* foi de 1,37 para as colônias jovens e de 1,60 para as colônias adultas. Dos 100% dos nutrientes presentes nas folhas de *Eucalyptus grandis* consumidas por colônias de *Atta sexdens rubropilosa*, em média, 49% destes nutrientes retornam ao solo na forma de resíduos. O macronutriente mais consumido percentualmente pelo fungo simbiote e a colônia de formigas foi o nitrogênio, com 65% do total deste nutriente presente na folha e o micronutriente mais consumido foi o manganês com 78%. Em campo, verificou-se um aumento percentual dos nutrientes, em relação à área sem formigueiros, de 37% no teor de P, 41% de K, 79% de Ca e 37% de Mg nas áreas com formigueiros, em solos com plantios de *E. grandis*. A utilização do infravermelho próximo mostrou-se um método inovador, eficiente e ágil para identificar as castas de colônias de formigas cortadeiras, assim como o fungo simbiote e o resíduo gerado por estes formigueiros.

Palavras-chaves: formigas cortadeiras, macronutrientes e infravermelho próximo.

ABSTRACT

The leaf-cutting ants are considered forest pests due to that cause economic damage to the crops, however, despite being assessed by the negative aspect in their relationship with humans, the ants perform activities of great importance in environments in which they live. Due to lack of information of ecological aspect of the leaf-cutting ants, the premise of this study was to evaluate the waste produced by nests of *Atta sexdens rubropilosa* in laboratory and field. In laboratory the tested materials were samples of leaves used to feed the anthills and the waste (garbage) produced by the same where it was detected the chemical quality of both. Field data were obtained from soil samples with the presence of nests and in their absence, in *Eucalyptus grandis*. The results obtained in laboratory were conducted by foraging an *A. sexdens rubropilosa* adult colony with approximately 900 g/year and the young colonies with 124 g/year. The conversion factor carried out in these nests fed with *E. grandis* is 1.37 and 1.60 to young and adults to the anthills, respectively. In average 49% of nutrient of *E. grandis* leaves consumed by *Atta* colonies returns to the soil as waste. The most consumed nutrient by symbiotic fungus and ants colony was the nitrogen, with 65% of total nutrient present in the leaf. There is an nutritional increase in the area without of 37% in P, K 41% 79% 37% Ca and Mg when compared with *Eucalyptus grandis* areas with anthills. The use of NIR had to be efficient and agile to identify the colonies of ants castes as well as the symbiotic fungus and the waste generated from these anthills.

Keywords: leaf-cutting ants, macronutrients and near infrared.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 AS FORMIGAS CORTADEIRAS	13
3.1.1 As Formigas e o Meio Ambiente	13
3.1.2 Classificação e distribuição geográfica	14
3.1.3 Espécies de formigas cortadeiras do Gênero <i>Atta</i> (saúvas) encontradas no Brasil.....	15
3.1.4 Aspectos biológicos e morfológicos das saúvas (<i>Atta</i> spp.)	16
3.1.5 A revoada e a instalação de novos formigueiros	18
3.1.6 Desenvolvimento do formigueiro	21
3.1.7 Fungo simbiote	23
3.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES POR FORMIGAS CORTADEIRAS.....	25
3.3 CRIAÇÃO DE FORMIGAS CORTADEIRAS EM LABORATÓRIO.....	28
3.4 CONVERSÃO DO MATERIAL VEGETAL EM RESÍDUO.....	29
3.5 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO APLICADO AO ESTUDO DE COLÔNIAS DE FORMIGAS CORTADEIRAS (NIR).....	31
3.6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS INSETOS	35
4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 DADOS DE LABORATÓRIO.....	37
4.1.1 Formigueiros utilizados nos experimentos.....	37
4.1.2 Suprimento das colônias com folhas de <i>Eucalyptus grandis</i>	41
4.1.3 Experimentação e determinação da taxa de conversão de folhas de <i>Eucalyptus grandis</i> em resíduos	41
4.1.4 Determinação do índice de utilização dos nutrientes	42
4.1.5 Análises com infravermelho próximo (NIR)	44
4.2 DADOS DE CAMPO.....	48
4.2.1 Área de estudo.....	48

4.2.2 Delineamento experimental.....	50
4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
5.1 DADOS DE LABORATÓRIO.....	53
5.1.1 Determinação do consumo de folhas de <i>Eucalyptus grandis</i> pelos formigueiros de <i>Atta sexdens rubropilosa</i>	53
5.1.2 Análise dos nutrientes presentes nas folhas de <i>Eucalyptus grandis</i> e no resíduo gerado por <i>Atta sexdens rubropilosa</i>	55
5.1.3 Nutrientes utilizados pelos formigueiros de <i>Atta sexdens rubropilosa</i> presentes nas folhas de <i>Eucalyptus grandis</i>	61
5.1.4 Infravermelho próximo (NIR)	65
5.1.4.1 Análise de Componentes Principais com os Espectros de NIR.....	73
5.2 DADOS DE CAMPO.....	77
5.2.1 Teores de matéria orgânica.....	77
5.2.2 Comparação da quantidade de nutrientes nas áreas com formigueiros e sem formigueiros	81
5.2.3 Concentração de nutrientes e demais variáveis relacionadas à qualidade do solo em diferentes profundidades	86
6 CONCLUSÕES.....	95
7 RECOMENDAÇÕES.....	96
REFERÊNCIAS.....	97
ANEXOS	

1 INTRODUÇÃO

As formigas cortadeiras são consideradas pragas florestais devido ao dano econômico que causam a estas culturas, porém, apesar de serem avaliadas pelo aspecto negativo na sua relação com o homem, as formigas cortadeiras exercem atividades de grande importância nos ambientes em que vivem. Atuam nos ecossistemas como consumidores primários e secundários, servem como fonte de alimento para uma grande diversidade de espécies animais, que incluem insetos, répteis, aves e mamíferos, e entre algumas populações são utilizadas como fonte alimentar pelo homem. De acordo com Rico-Gray (1980) as formigas aparecem também como agentes de aeração do solo, podendo promover um incremento na porosidade e densidade, renovação e transformação da biomassa vegetal e alguns estudos mostram sua atuação como agentes de polinização.

Em relação aos hábitos alimentares das formigas cortadeiras, durante muito tempo pensou-se que o material vegetal cortado e carregado para o interior do formigueiro fosse consumido diretamente pelas formigas, porém, constatou-se que este pensamento não é verdadeiro. Sabe-se com segurança que este grupo de formigas supre parte de suas necessidades nutricionais alimentando-se de um fungo cultivado nos formigueiros.

Escavando-se um formigueiro, encontra-se em suas câmaras subterrâneas uma massa esponjosa de cor branco-acinzentada, formada pelo material vegetal que as formigas carregam para o interior de seus ninhos, cortado em minúsculos pedaços e, por um fungo que se desenvolve nutrido pelos vegetais picados. Como o fungo não consome todo o material vegetal transportado para o interior da colônia, sobra no formigueiro um resíduo que é incorporado ao solo.

Os processos que ocorrem entre a inoculação do fungo simbiote nas folhas até a transformação destas em resíduos são pouco conhecidos. Não são conhecidos os nutrientes das folhas que o fungo simbiote consome, bem como, não são conhecidas as quantidades e propriedades nutricionais que os resíduos possuem e se estes têm alguma influência sobre as propriedades nutricionais das porções de solos onde os formigueiros se encontram. Assim, o importante papel ecológico destes insetos na dinâmica dos solos não é valorizado, desconsiderando-se que

como todos os seres vivos as formigas cortadeiras também tem um papel ecológico na natureza.

Também nos aspectos biológicos e morfológicos das formigas cortadeiras, existem dificuldades de compreensão. Sabe-se, por exemplo, que as formigas são divididas em castas, porém, os fatores que determinam se um indivíduo pertence a uma ou outra classe não estão definidos, na prática os indivíduos são agrupados em castas em função de seu tamanho.

Elucidar todas estas dúvidas, tem relevância ecológica e também econômica. No aspecto ecológico, se entendermos as relações das formigas com o solo, passaremos a ver a importância destes insetos para a recomposição de solos e ambientes degradados. Economicamente, a compreensão do processo de formação das castas talvez abra perspectivas para formas mais eficientes de controle.

Os caminhos consolidados para essas respostas são as análises químicas convencionais para as análises de nutrientes contidos nos resíduos dos formigueiros, e análises de DNA para o estudo das castas e identificação das espécies. Porém, estas análises apresentam algumas dificuldades. As análises de DNA exigem equipamentos adequados e pessoal técnico treinado, além disso, tem o inconveniente de destruir as amostras, fato que também ocorre com análises químicas convencionais.

Assim, a busca por análises rápidas, práticas e que mantém a integridade da amostras, é uma necessidade constante. Entre as possibilidades para substituir as análises químicas e de DNA, destaca-se o uso do infravermelho, que tem como grande vantagem a manutenção da integridade das amostras e a rapidez para a leitura e obtenção dos espectros, permitindo a diferenciação de cada grupo analisado, devido as suas características químicas.

Devido a este contexto, o trabalho teve três premissas básicas. A primeira foi avaliar, através de análises químicas, a influência de *Atta sexdens rubropilosa* sobre os nutrientes do solo em áreas com e sem a presença de formigueiros. A segunda foi analisar os resíduos produzidos por colônias de *Atta sexdens rubropilosa*, através de análises químicas tradicionais e por análises não destrutivas, que utilizam o infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho médio (MIR). A última foi verificar a eficiência do infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho médio (MIR) para separar e caracterizar castas de *Atta sexdens rubropilosa*.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os resíduos produzidos por colônias de *Atta sexdens rubropilosa* em condições de laboratório e de campo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a conversão de folhas de *Eucalyptus grandis* em resíduos, por colônias de *Atta sexdens rubropilosa* monitorados em laboratório;
- Determinar o consumo de nutrientes contidos nas folhas de *Eucalyptus grandis* fornecidas às colônias de *Atta sexdens rubropilosa*.
- Determinar quais nutrientes são utilizados pelas colônias para o desenvolvimento do fungo simbiote.
- Verificar a influência de formigueiros de *A. sexdens rubropilosa* em plantios de *Eucalyptus grandis* nas características químicas do solo.
- Testar o infravermelho próximo (NIR) como uma nova ferramenta de identificação e separação de castas de formigas cortadeiras, fungo simbiote e resíduos produzidos pelas colônias destes insetos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AS FORMIGAS CORTADEIRAS

3.1.1 As Formigas e o Meio Ambiente

As formigas são seres altamente organizados e dominantes na maioria dos ecossistemas terrestres (WILSON, 1978). Segundo Wilson (1971) estes insetos são denominados insetos eusociais por apresentarem três características: sobreposição de gerações (apresentam mais de uma geração em determinado momento da vida); divisão de trabalhos (castas) e cuidados com a prole.

As formigas são classificadas segundo seus padrões alimentares, como carnívoras, onívoras e herbívoras (TAYLOR, 1978). Entre milhares de espécies de formigas, as cultivadoras de fungo chamam a atenção dos pesquisadores devido à extraordinária relação simbiótica entre estas formigas e o fungo por elas cultivados. A relação de dependência existente entre estes indivíduos é tal, que um não sobrevive sem a presença do outro. Esta categoria inclui as formigas cortadeiras de folhas, bastante conhecidas pela devastação que causam às áreas agrícolas e florestais (WEBER, 1966).

No imaginário popular, formiga cortadeira é sinônimo de "comedora de folhas". No entanto, não são capazes de comê-las, mas sim as cortam, para que, dentro do formigueiro possam cultivar os fungos dos quais se alimentam (CALDAS, 2007). Elas obtêm uma completa e balanceada dieta a partir do fungo associado, mas também ocorre a ingestão da seiva no momento do corte das folhas (PAGNOCCA, 2001). Segundo Littleddyke & Cherrett (1976) em seu trabalho que avaliou a ingestão de seiva em plantas radiomarcadas durante o forrageamento e a preparação do substrato para o jardim fungo, por colônias de formigas cortadeiras de *Atta cephalotes* (L.) e *Acromyrmex octospinosus* (Reich), monitoradas em laboratório, demonstrou que as formigas adultas obtêm a maioria da seiva para o seu consumo durante o forrageamento e as formigas pequenas e médias durante a preparação do substrato. Ainda estes autores citam que os nutrientes são ingeridos

diretamente a partir de folhas, quando estes são palatáveis, e os componentes menos palatáveis são disponibilizados para as formigas através do fungo.

As formigas cultivadoras de fungo pertencem à tribo Attini, subfamília Myrmicinae e abrangem 13 gêneros que se estendem pelo continente americano e Antilhas, abrangendo 40° de latitude acima e abaixo da linha do Equador (AUTUORI, 1949; ANGELI-PAPA E EYMÉ, 1985; BRANDÃO & MAYHÉ-NUNES, 2001). Todas as espécies da tribo Attini cultivam fungo em seus ninhos e o substrato onde o fungo cresce têm variações conforme o gênero da formiga (MARTIN, 1970).

Dentre os 13 gêneros pertencentes à tribo Attini, com aproximadamente 230 espécies descritas, os gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, conhecidos como saúvas e quenquéns, respectivamente, são as mais evoluídas, utilizando folhas, caules e flores frescas para o cultivo do seu fungo (BRANDÃO & MAYHÉ-NUNES, 2001). Estas chamam atenção por serem as que mais causam danos à agricultura, em consequência do corte às plantações, principalmente de folhas novas e brotos, e pela erosão causada no processo de instalação dos formigueiros com a escavação do solo, além dos danos indiretos ao meio ambiente, devido a grande quantidade de inseticidas lançados no solo, na tentativa de controle deste inseto (SIQUEIRA, 1996).

3.1.2 Classificação e distribuição geográfica

As formigas pertencem à Classe Insecta, Ordem Hymenoptera e Família Formicidae, Subfamília Myrmicinae, Tribo Attini (MARICONI, 1979). São consideradas “formigas cortadeiras” todas as espécies do gênero *Atta* (saúva) e *Acromyrmex* (quenquém) e também algumas dos gêneros *Trachymyrmex*, *Sericomyrmex* e *Apterostigma*. Os ninhos nos três últimos gêneros citados são muito pequenos e o dano que causam é pouco significativo, por este motivo é dada atenção especial às duas primeiras que têm grande importância na economia agro-florestal brasileira (JUSTI *et al.*, 1996).

As saúvas são insetos americanos, não estando presente na Europa, Ásia, África e Oceania. Na América sua área de dispersão vai do sul dos Estados Unidos (latitude 33° N) até o norte da Argentina (latitude 33° S) (MARICONI, 1979). Não há

saúvas no Chile, em algumas ilhas das Antilhas e no Canadá, sendo que no Brasil não foi registrada a presença desses insetos apenas na ilha de Fernando de Noronha (GALLO *et al.*, 2002).

3.1.3 Espécies de formigas cortadeiras do Gênero *Atta* (saúvas) encontradas no Brasil

Segundo Della-Lúcia (1993), no Brasil o gênero *Atta* é representado pelas espécies e subespécies, listadas a seguir:

- 1) *Atta bisphaerica* Forel, 1908 - “Saúva-mata-pasto”
- 2) *Atta capiguara* Gonçalves, 1944 - “Saúva-parda”
- 3) *Atta cephalotes* (Lineu, 1758) - “Saúva-da-mata”
- 4) *Atta goiana* Gonçalves, 1942 - “Saúva”
- 5) *Atta laevigata* (F.Smith, 1858) - “Saúva-de-vidro”
- 6) *Atta opaciceps* Borgmeier, 1939 - “Saúva-do-sertão-do-nordeste”
- 7) *Atta robusta* Borgmeier, 1939 - “Saúva-preta”
- 8) *Atta sexdens piriventris* Santschi, 1919 - “Saúva-limão-sulina”
- 9) *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 - “Saúva-limão”
- 10) *Atta sexdens sexdens* (Lineu, 1758) - “Formiga-da-mandioca”
- 11) *Atta vollenweideri* Forel, 1939 - “Saúva”

Daremos especial atenção à espécie *Atta sexdens rubropilosa* por ser a espécie objetivo do nosso estudo. Segundo Forti (1987) a espécie *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908, conhecida popularmente por saúva-limão pode ser identificada como: operária soldado (formiga maior) com cabeça sem brilho, quando esmagada exala odor semelhante ao das folhas de erva-cidreira ou folhas de limão. As colônias possuem montes de terra solta e fofa bastante irregular. Os orifícios de alimentação estão distantes da terra solta da colônia, não sendo facilmente identificáveis. Essas formigas cortam exclusivamente folhas de plantas dicotiledôneas, embora em algumas situações pode se observar operárias transportando folhas de gramíneas.

3.1.4 Aspectos biológicos e morfológicos das saúvas (*Atta* spp.)

Segundo alguns autores (CARVALHO, 1935; JACOBY, 1950; JUSTI *et al.*, 1996), a população das saúvas é composta por indivíduos de tamanhos e formas diferentes, de acordo com a função ou trabalho que desempenham, constituindo as seguintes castas: 1) fêmeas e machos férteis; 2) fêmeas estéreis.

- Fêmeas férteis: em cada colônia existe uma única fêmea fértil que é a rainha, sendo conhecidas também como içás ou tanajuras. São responsáveis pela formação e reprodução do formigueiro do saueiro permanecendo na colônia até a extinção da mesma. As içás aladas apresentam cabeça, mandíbulas, tórax e gáster bastante desenvolvidos e sua coloração varia de marrom avermelhada a marrom escura;
- Machos férteis: também conhecidos como bitus, são alados, possuindo cabeça e mandíbulas pouco desenvolvidas e pernas mais avantajadas. A coloração varia de marrom avermelhada a marrom escura.
- Fêmeas não funcionais reprodutivamente: são denominadas operárias, constituem a grande maioria do saueiro, são ápteras e sua coloração varia de acordo com a espécie. Este grupo de formigas é destinado unicamente à execução dos trabalhos nas colônias. Estão divididas em três categorias gerais que apresentam um gradiente de tamanho:

- a) Jardineiras: são as de menor tamanho, trituram partes de vegetais dentro da colônia, dispondo-as para o cultivo do fungo em câmaras especiais (painéis). São dotadas de grande capacidade olfativa, refugando qualquer material estranho que tenha sido trazido ao formigueiro;
- b) Cortadeiras: são as de tamanho médio, cortam e transportam pedaços de vegetais para dentro da colônia, recuperam a vegetação e escavam o ninho.
- c) Soldados: são as de tamanho grande, possuem cabeça e mandíbulas bem desenvolvidas e sua função é a de proteger a colônia.

Alguns autores ainda citam as generalistas, que são de tamanho intermediário e desempenham vários tipos de atividades como a degradação da vegetação antes da incorporação ao jardim de fungo, transporte de outras operárias, assistência à

prole durante a ecdise ou muda, cuidados com a rainha, descarte do lixo e reconstrução das esponjas de fungo (DELLA-LÚCIA, 1993; WILSON, 1980).

Em estudos realizados por Wilson (1980) é feita uma distinção entre as tarefas cumpridas pelas castas, que são separadas em tarefas fixas e tarefas flexíveis, de acordo com a sua idade e tamanho. Segundo este estudo, os serviços mais generalizados são realizados por trabalhadores com larguras de cápsula encefálica em torno de 1,4-1,6 mm, em colônias de *Atta sexdens*. As jardineiras e babás possuem largura da cápsula encefálica entre 0,8 a 1,0 mm, enquanto que as forrageadoras possuem entre 2,0 e 2,2 mm. As defensoras são as maiores, cuja a cabeça é cordiforme, apresentando a largura da cápsula encefálica de 3,0 mm, devido a isso são chamadas de cabeçudas ou soldados, pois defendem o ninho.

O saueiro de *Atta sexdens rubropilosa* apresenta sobre a superfície do solo uma área de terra solta formada em torno dos olheiros, que constituem as aberturas que dão entrada ou saída do formigueiro. Esta terra solta é originária da escavação feita pelas formigas na construção de galerias e câmaras subterrâneas, denominadas de canais e painéis, respectivamente (DELLA-LÚCIA, 1993).

A sede de um saueiro pode ocupar uma área, dependendo da sua idade, época do ano e topografia do terreno, de alguns poucos metros quadrados até mais de 100 m². Nesta área que constitui a sede do formigueiro, o número de olheiros também varia bastante de poucas dezenas até muitas centenas (JACOBY, 1950; FORTI, 1987).

Existem, em menor número, olheiros localizados fora da sede, distribuídos em torno de diversas distâncias que alcançam 100 metros ou mais, servindo para ventilação ou para o abastecimento. Dos olheiros de abastecimento partem os carreiros, que são os caminhos externos por onde transitam as formigas para o corte e transporte do material vegetal. Os carreiros se estendem do olheiro até a chamada zona de corte, podendo estar situada até mais de 50 metros de distância do ninho, sendo que às vezes se ramificam durante este percurso. Estes caminhos medem normalmente de 5 a 20 cm de largura, porém freqüentemente encontra-se com maiores proporções (FORTI, 1987).

Segundo Gonçalves (1964), as formigas saúvas apresentam formigueiros formados por dezenas ou centenas de câmaras subterrâneas, ligadas entre si e com a superfície do solo, por meio de galerias. No exterior, caracterizam-se

principalmente por apresentarem um monte de terra solta formado pelo acúmulo de terra extraída das câmaras ou panelas.

Panelas vivas são aquelas que apresentam a cultura de fungo e onde podem ser localizados também os ovos, as larvas e as pupas; as de lixo são aquelas reservadas para o depósito do material já esgotado pelo fungo, denominado resíduo, e também onde são depositadas as formigas mortas; as panelas com terra contêm terra solta proveniente de escavação, e panelas vazias são aquelas que não apresentam nada no seu interior. A maior concentração de panelas situa-se no centro do saueiro, entre 2,5 e 4,0 metros de profundidade, porém existem aquelas que podem atingir até mais de sete metros (7 m), isto dependendo da idade do formigueiro, da constituição física do solo e do lençol de água (JURUENA, 1980).

Segundo CRAVEN (1970), os diversos ninhos de formigas cortadeiras são formados por quatro porções: a primeira contém o fungo em estágio inicial de crescimento sobre o substrato, denominado esponja nova; a segunda porção, mais antiga e estável região do jardim, onde o fungo se apresenta bem desenvolvido e o substrato num estágio mais avançado de degradação, é chamada de esponja velha; a terceira porção compreende porções da esponja recentemente descartada pela formiga; a quarta e última porção do formigueiro contém o material de refugio anteriormente descartado juntamente com substratos inaceitáveis descartados pelas formigas e formigas mortas, chamada simplesmente de resíduo (lixo).

3.1.5 A revoadada e a instalação de novos formigueiros

Em formigueiros que atingem certo grau de desenvolvimento, além da população normal de operários, aparecem indivíduos alados de porte bem maior, que são machos chamados de “Bitus” e fêmeas chamadas de “Içás” ou “Tanajuras” (AUTUORI, 1941).

Quando o formigueiro atinge esta fase, diz-se que ele tornou-se adulto, isto se dá aproximadamente aos 38 meses de idade a partir da data da sua fundação, sendo que daí para diante, todos os anos na mesma época, repete-se o fenômeno da revoadada (MARICONI, 1970).

No início da primavera, os formigueiros entram numa fase de pré-revoada, quando os olheiros e canais apresentam-se alargados e completamente limpos. Todas as formigas tornam-se extremamente agressivas, tomando uma atitude de permanente alarme (AUTUORI, 1940).

As saúvas copulam durante a revoada ou vôo nupcial quando as fêmeas são fecundadas em pleno vôo (CARVALHO, 1935). Esta revoada ocorre geralmente em dias bem claros, quentes e úmidos, durante o período de outubro a dezembro (CARVALHO, 1935).

Pouco antes da revoada propriamente dita, surgem na superfície grande número de operárias de todas as castas, que ficam em estado de alerta, para atacar qualquer intruso. Os primeiros alados a aparecerem na superfície locomovem-se lentamente, como que reconhecendo o terreno, depois procuram subir nos pontos mais altos, como macegas e gramíneas, onde ensaiam o vôo, batendo as asas no mesmo lugar (PAULA, 1957).

No início, o vôo do inseto é quase vertical, depois de certa altura toma o sentido horizontal, seguindo a direção do vento. Aproximadamente a 100 metros de altura, os alados, voando em círculo, formam uma nuvem, a qual Elpídio Amante chamou de nuvem de atração sexual (NAS). Supõe-se que os machos liberem nesta ocasião um feromônio através de glândulas que possuem na cabeça, que é responsável pela atração sexual dos alados. De modo que as fêmeas, da mesma espécie, são atraídas para esta nuvem, onde se realiza a cópula (MARICONI, 1970).

O número de içás e bitus envolvidos em uma revoada é grande e, dependendo da espécie, alcança cerca de 3.000 içás e 20.000 bitus (AUTUORI, 1957). O número maior de machos garante a fecundação das fêmeas. Uma fêmea efetua apenas um vôo nupcial durante sua vida, podendo ser fecundada por 5 a 8 machos, chegando a acumular até 400 milhões de espermatozóides numa bolsa especial, mantendo-a sempre em perfeito estado durante toda a sua vida, que pode atingir até cerca de 20 anos. Por isso uma rainha põe ovos durante toda a vida sem necessitar de outro acasalamento (DELLA-LÚCIA, 1993). O vôo nupcial é repetido todos os anos pelo saúveiro adulto (AUTUORI, 1957).

Terminado o vôo nupcial, os machos cumpriram sua missão, pousam em qualquer lugar e, sem condições de viverem isoladamente, morrem pelos efeitos das intempéries ou comidos por outros animais, como aves, sapos, lagartos e até mesmo por outras espécies de formigas (PAULA, 1957).

Nem todas içás conseguem estabelecer definitivamente uma colônia. Os fatores que limitam a instalação de novas colônias são vários: a maioria delas é devorada por aves durante o vôo nupcial; no chão, enquanto escavam a abertura inicial do ninho, estas estão sujeitas a aves e outros predadores; no interior dos novos formigueiros as içás estão sujeitas a outros insetos (formigas carnívoras, larvas predadoras, etc.) e podem ser atingidas por inundações provocadas pelas fortes chuvas de verão que as matam por afogamento. Calcula-se que aproximadamente 99,95% das içás presentes em uma revoada sejam impedidas de fundar uma nova colônia, portanto 0,05% têm sucesso (AUTUORI, 1947). O número de fêmeas que chegam a formar novas colônias é muito reduzido, o que representa um exemplo de equilíbrio natural (JURUENA, 1980).

As içás fecundadas procuram, geralmente, pousar em local limpo ou com pouca vegetação e, feito isto, iniciam imediatamente a escavação de um canal no fim do qual constroem uma pequena câmara, que é a primeira panelinha do saveiro (CARVALHO, 1935). Segundo o mesmo autor, muitas vezes estas formigas iniciam a escavação ainda com as asas e, à medida que vão trabalhando na abertura do canal, perdem-nas ou elas próprias arrancam-nas com as patas. O canal inicialmente formado é vertical ou levemente oblíquo e normalmente atinge a profundidade média de 13,36 cm, incluindo a câmara (AUTUORI, 1942).

Segundo Juruena (1980) a terra retirada para a construção desta câmara é utilizada para obstruir o canal de entrada, ficando a Içá isolada nesta panelinha que apresenta as dimensões aproximadas de 5 cm no maior diâmetro, 2 cm no menor e de 3 cm na maior altura. Na escavação do canal, a Içá vai retirando pequenos torrões de terra com cerca de 5 mm de diâmetro, de modo que a localização da instalação de um saveiro é facilmente identificada pela presença desses torrõezinhos em volta do local de penetração.

Terminado o trabalho de instalação do novo saveiro, a Içá passa um período de repouso e adaptação ao novo ambiente e, mais ou menos 48 horas depois, regurgita um pedacinho de fungo que trouxe do saveiro de origem, numa cavidade junto à boca, passando a adubá-lo com o próprio líquido fecal. Cerca de quatro a seis dias depois da penetração da Içá, é iniciada a postura dos ovos, que algumas semanas depois dão origem às primeiras larvas (AUTUORI, 1942). Estas larvas são ápodas, isto é, não possuem pernas e, portanto não podem se locomover, de modo que o alimento é colocado diretamente ao alcance de suas bocas (JURUENA, 1980).

O saueiro é constituído de uma única rainha ou içá, que é a fêmea responsável pela postura dos ovos e milhões de operárias (GONÇALVES, 1965).

Após a fundação do formigueiro, a nova rainha põe além de ovos normais, outro tipo de ovos maiores revestidos por uma finíssima película contendo um líquido esbranquiçado, os quais são chamados de ovos de alimentação. A rainha pega estes ovos com todo o cuidado e coloca-os em contato com as peças bucais das larvas, que sugam o líquido como se fosse uma mamadeira (AUTUORI, 1940).

Os ovos de alimentação servem também para alimentar a própria rainha durante o período que o fungo não atingiu o desenvolvimento adequado para sustentar a colônia (AUTUORI, 1940).

Até o aparecimento das primeiras formigas, a rainha tem um intenso trabalho com a colônia de fungo, pondo ovos de alimentação e ovos normais, alimentando as larvas e fazendo sua higiene diária. Depois disso, ela começa a passar estas tarefas as operárias e passa se dedicar apenas à postura de ovos (AUTUORI, 1940).

3.1.6 Desenvolvimento do formigueiro

Entre as atividades externas do formigueiro, a mais significativa é representada pelo trabalho desenvolvido pelas formigas no corte e carregamento do material vegetal para o interior da colônia (JURUENA, 1980).

Com a reabertura do canal pelas formigas adultas que surgem na panelinha inicial, começa o corte e o transporte de material vegetal, com a finalidade de alimentar a colônia de fungo. Este, com os cuidados recebidos, acelera seu crescimento e toda a colônia passa a dele se alimentar (FORTI, 1987). O fungo serve como principal fonte alimentar para as larvas, mas as formigas adultas tem que completar sua dieta em outra fonte, o que fazem provavelmente ingerindo diretamente a seiva das plantas que cortam (CHERRET, 1980).

As formigas possuem a cavidade infrabucal que serve como filtro no processo de limpeza realizado pelas operárias nos ninhos e também como um reservatório de substâncias a serem digeridas (JUSTI *et al.*, 1996). O alimento fica retido na cavidade infrabucal da operária adulta por cerca de 24 horas, onde este passa por um processo de digestão. Somente alimentos líquidos chegam ao mesentério

(FEBVAY & KERMARREC, 1981), para serem efetivamente usados como alimento para a formiga. A quitina, encontrada na parede das células do fungo simbiote assim como o amido da seiva das plantas, é digerida ou inicia um processo de digestão na cavidade infrabucal. O restante do material sólido não digerido é regurgitado e depositado no lixo (FEBVAY & KERMARREC, 1986).

Quando o formigueiro é capaz de se autoalimentar, a rainha cessa a postura de ovos de alimentação e intensifica a postura de ovos normais, aumentando a população do formigueiro. Com um maior número de indivíduos, inicia-se a construção de novos canais e painéis mais profundas, que por sua vez vão determinar a abertura de mais olheiros e a retirada de terra para a superfície (JURUENA, 1980).

A abertura do primeiro olheiro em colônias de *Atta sexdens piriventris* ocorre em torno de 73 dias após a penetração da Içá no solo, o segundo vai aparecer cerca de um ano depois, mas os seguintes se sucedem rapidamente (AUTUORI, 1942).

Segundo AUTUORI (1942), em *A. sexdens rubropilosa*, as primeiras operárias aparecem externamente aos 87 dias depois da fundação do ninho, as quais desobstruem o canal que havia sido perfurado pela Içá e começam a auxiliar na incorporação de materiais vegetais para o fungo.

Ao atingir os três anos de idade, diz-se que o formigueiro tornou-se adulto, porque nesta fase a rainha põe ovos que vão originar indivíduos alados que farão à primeira revoada (MARICONI, 1970).

Um saueiro alcança um máximo de desenvolvimento após três anos, a partir de sua instalação. Nesta ocasião, dependendo da época do ano, sua sede contém cerca de 100 a 200 olheiros abertos e em torno de 10 milhões de formigas (RILEY *et al.*, 1974).

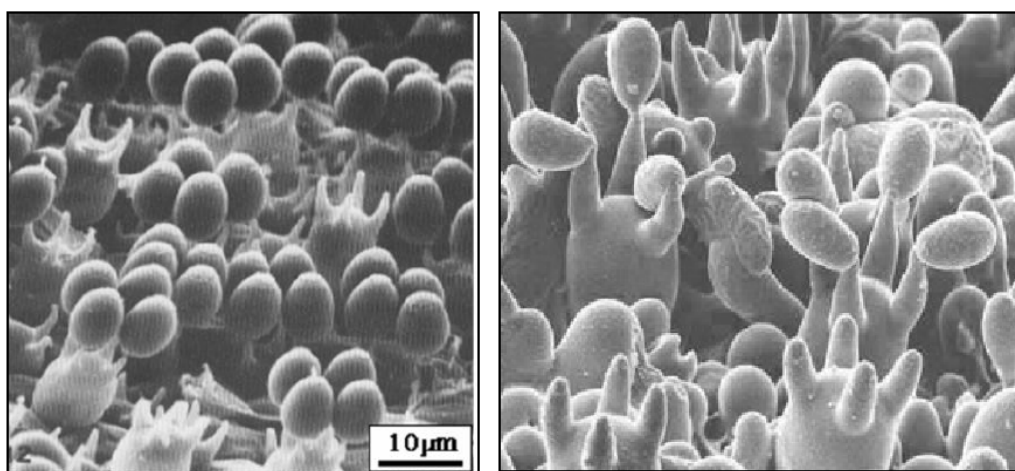
O aparecimento dos olheiros de um saueiro não se dá de maneira regular, isto é, a expansão dos olheiros está na dependência do feitio e composição do terreno, com a localização das plantas a serem atacadas e, possivelmente, ainda com outros fatores (MARICONI, 1970).

A longevidade do formigueiro depende da rainha, pois quando ela morre não será substituída por outra e, não havendo mais postura de ovos, a colônia vai se extinguindo (AUTUORI, 1942). Autuori (1942) ainda cita que em laboratório, uma rainha viveu durante 20 anos. Segundo Loeck (2007), a longevidade de uma rainha de saúva pode chegar a 22 anos, aproximadamente. Loeck (2007) acompanhou o

período de vida de uma rainha de *Atta sexdens piriventris*, mantida em formigueiro sob condições artificiais em laboratório da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil, durante o período compreendido entre setembro de 1985 a março de 2007. A rainha fecundada, durante toda a sua vida, pode pôr cerca de 300 milhões de ovos, que é a capacidade de armazenamento de espermatozóides de sua espermateca (FORTI, 1987).

3.1.7 Fungo simbiote

O fungo cultivado pelas formigas cortadeiras da Tribo Attini pertence ao grupo dos Basidiomycota, representados aproximadamente por 22.300 espécies. Os fungos apresentam estruturas típicas, como: basídio (responsável pela produção dos basidiósporos – esporos), parede celular com quitina e hifas com septos perfurados, demonstrado na figura 1. A maioria possui vida livre (terrestres), poucos são simbióticos (líquens) ou parasitas, e algumas espécies ainda se adaptaram ao ambiente aquático (SILVA, 2008). Segundo Martins (2009) são representados pelos cogumelos comestíveis e venenosos, alguns fitopatógenos (ferrugens e carvões) e leveduras.



FONTE: Tolweb, 2008; Jim, 2008

FIGURA 1 - HIMÊNIO DE FUNGOS BASIDIOMICETOS, MOSTRANDO A ESTRUTURA DO BASÍDIO SUSTENTANDO OS BASIDIÓSPOROS

MOLLER (1941) fez um estudo minucioso dos fungos cultivados pelas formigas cortadeiras, verificando que tal fungo necessita de substrato de origem vegetal para o seu desenvolvimento, sendo a celulose a principal fonte de carbono para o meio.

Segundo Vasconcelos e Fowler (1990), a associação simbiótica estabelecida entre as formigas e os fungos que cultivam resulta no seu sucesso ecológico na natureza. As formigas do gênero *Atta* coletam folhas, flores e brotos e carregam para a colônia, onde este material irá servir de substrato para os fungos por elas cultivados (WEBER, 1966). O fungo cresce, infiltrando suas hifas entre os fragmentos de folhas e forma uma massa micelial que compõe o jardim de fungo.

De acordo com Fisher *et al.* (1994) o fungo é mantido livre de contaminações pelas operárias graças a um antibiótico natural (“Myrmicacin”) que é secretado pelas formigas e que inibe o crescimento de muitos fungos de solo (*Penicillium* spp.) e de plantas (*Cladosporium* e *Alternaria* spp.).

Tradicionalmente, a identificação de fungos baseia-se na morfologia dos órgãos reprodutivos (SILVA, 2008). Porém, no fungo simbiote das formigas cortadeiras não se tem observado a produção de esporos ao nível de campo e de laboratório, e acredita-se que eles tenham se adaptado às diferentes condições de meio oferecidas pelas formigas (BORBA, 2007).

Muitos pesquisadores acreditam que, ao longo de sua evolução associado às formigas, este fungo perdeu a capacidade de reprodução sexuada (SILVA, 2008).

Uma das teorias existentes, sugerida por Mueller, Rehner e Schultz (1998) *apud* por Silva (2008), é a ocorrência de uma degeneração dos genes responsáveis pela formação de basidiósporos ao longo do tempo, devido à propagação destes fungos em forma de clones, pelas formigas. Outro motivo seria o controle efetuado por parte das formigas dos estágios iniciais de desenvolvimento das estruturas reprodutivas do fungo e pelo fato de atacarem os basidiomas imaturos (quando conseguem se desenvolver), inclusive para utilizá-los como alimento (FISHER *et al.*, 1994). Borba (2006) também destaca que “a formação de basidiocarpos são encontrados com muito pouca frequência, de forma anômala e não como parte do ciclo de vida normal desses fungos”.

Angeli-Papa e Eymé (1985) e Brancher (1993) realizaram descrições de estruturas do micélio em fungos de *Atta*, *Acromyrmex* e *Trachymyrmex*, cujos resultados serviram para comprovar que os fungos cultivados pelos Attini são

basidiomicetes. Ainda Mueller (2002), após relatar todas as ocorrências de basidiomas encontrados em ninhos de *Atta* e *Acromyrmex*, considerou que ambas as espécies cultivam o mesmo fungo.

Singer (1986), após análise de todas as descrições de basidiomas fúngicos realizadas anteriormente, renomeou o fungo cultivado pelas formigas Attini como *Leucoagaricus gongylophorus*, que é a nomenclatura mais utilizada atualmente pelos pesquisadores da área.

Trabalhos realizados por Loeck *et al.* (2000) mostraram diferentes respostas dos fungos cultivados por diferentes espécies de *Atta* e *Acromyrmex*, em relação aos meios de cultivo e pH's, evidenciando um processo co-evolutivo entre fungo e formigas. Vários trabalhos com extratos de plantas para verificar o efeito sobre o desenvolvimento do fungo simbiote também tem sido realizados (SILVA, 2008).

3.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES POR FORMIGAS CORTADEIRAS

A ciclagem de nutrientes minerais compreende a trajetória cíclica dos elementos essenciais a vida dentro dos ecossistemas, resultando de um conjunto de processos interconectados, de forma que os mesmos recursos nutricionais são utilizados em sucessivos períodos de fixação de energia (DELITTI, 1995).

Segundo o mesmo autor, também no tempo ecológico ocorre o progressivo aperfeiçoamento do processo de ciclagem, levando a maior independência do sistema quanto ao suprimento nutricional. Os estoques e fluxos de nutrientes ficam cada vez mais sob controle dos seres vivos, de modo que as variações nas taxas de entrada desses elementos desde o ambiente circundante têm impacto progressivamente menor sobre a comunidade biológica. Ao mesmo tempo as possibilidades de perda são minimizadas pelo estabelecimento de grupos de organismos capazes de filtrar, concentrar e reter os elementos em trânsito (JORDAN & KLINE, 1972), como as formigas cortadeiras. Esta estratégia tem papel fundamental, por exemplo, no estabelecimento e manutenção de florestas sobre solos de baixa fertilidade, como ocorre na Amazônia, nas Matas Atlânticas e Restingas (DELITTI, 1995).

A ciclagem de nutrientes é um processo variável, que depende de uma série de fatores ambientais, como o clima, heterogeneidade do habitat, composição e sucessão de espécies, além da fertilidade do solo (SOUTO *et al.*, 2007). Estes autores citam que a herbivoria também é um fator considerado importante nesse processo, pois retiram grande quantidade de biomassa, podendo causar desequilíbrio entre as perdas e ganhos do sistema. Por outro lado, as saúvas (*Atta* spp.) poderiam beneficiar as espécies arbóreo-arbustivas, por meio da deposição de matéria vegetal no interior das câmaras de fungo e lixo das colônias (WEBER, 1972).

De acordo com Coutinho (1984), as raízes das plantas lenhosas poderiam entrar em contato com esse material e assimilar os nutrientes disponíveis. Caso essa hipótese esteja certa, amostras do subsolo de saúveiros e de folhas de plantas lenhosas próximas aos saúveiros deveriam ter maiores concentrações de nutrientes do que tais amostras oriundas de uma área controle.

Em ambientes distróficos a ciclagem de nutrientes é fundamental para a manutenção da fisionomia e estrutura dessas áreas (SOUTO *et al.*, 2007). Queimadas sazonais e a intensidade de herbivoria podem também ocasionar mudanças na estrutura de vários ecossistemas tropicais, como cerrado e savanas, podendo alterar a ciclagem de nutrientes desses habitats (BATMANIAN & HARIDASAN, 1985; VAN DE VIJVER *et al.*, 1999; RADHO-TOLY *et al.*, 2001).

Formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* são tradicionalmente vistas como importantes herbívoros (CHERRETT, 1989; ARAÚJO *et al.*, 1997). Essas espécies cortam preferencialmente fragmentos de folhas que são utilizados como substrato para o fungo simbiote, cultivado em câmaras subterrâneas, a vários metros de profundidade (WEBER, 1972; COUTINHO, 1984).

As saúvas podem cortar o equivalente a 12-17% de toda a produção de folhas de uma floresta tropical (CHERRETT, 1989). Isso ocorre, em parte, porque o fungo simbiote não é capaz de degradar lignina e celulose – principais constituintes dos tecidos vegetais, fazendo com que apenas pequena fração de toda a biomassa vegetal transportada para os ninhos seja, de fato, aproveitada (ABRIL & BUCHER 2002, 2004).

O material não consumido pelo fungo é então depositado em câmaras de descarte, as câmaras de lixo, onde ocorre a mineralização da matéria orgânica e

liberação de nutrientes para a solução do solo (COUTINHO, 1984; FARJI-BRENER & ILLES, 2000).

Segundo Coutinho (1984), a matéria orgânica acumulada nos saueiros poderia atuar como sítio de assimilação de nutrientes, beneficiando os estratos com sistema radicular profundo, como o arbóreo-arbustivo, reduzindo os impactos negativos da herbivoria.

A atividade das formigas também resulta em alterações das propriedades físicas do solo e pode promover um incremento na porosidade e densidade deste (FARJI-BRENER & ILLES 2000). Quimicamente as formigas alteram o ambiente por concentrarem nutrientes e acelerar o ciclo de nutrientes na área do ninho. Em uma estação ecológica da savana tropical, solos de ninhos de *A. laevigata* foram 30% a 60% superiores em concentrações de nitrogênio, magnésio e cálcio do que no solo adjacente (FARJI-BRENER & SILVA 1995).

Solos com a ocorrência de formigueiros foram enriquecidos em matéria orgânica, N total, nitrato, amônio e ortofosfato em relação aos solos coletados a 3 m de distância destes formigueiros. A concentração de N mineral foi de 600-800% maior e o fósforo apresentou uma concentração mais elevada de 200-300% em solos com ninhos de formigas do que solos circundantes. Formigueiros apresentaram concentrações de 25-35% mais elevadas de matéria orgânica e concentrações de 50-90% mais elevadas de N total, do que solos circundantes (WAGNER *et al.*, 2004).

As formigas têm um papel extremamente importante, uma vez que são predadoras intensas, são generalistas, consumindo néctar e outros exudatos vegetais, degradando matéria orgânica e participando da ciclagem de nutrientes (LEVEY & BYRNE 1993). As formigas cortadeiras são grandes revolvedoras de solo, isto é, elas transportam e misturam horizontes subjacentes com o horizonte superficial, sendo que este material subjacente pode sofrer novo intemperismo e liberar nutrientes na superfície, contribuindo com a ciclagem de nutrientes (SOUSA-SOUTO *et al.*, 2008), além de cortar pedacinhos de folhas das árvores ou arbustos e carregarem para dentro de seus ninhos, no subsolo (SILVA, 2008).

Nas florestas tropicais as formigas são os maiores agentes de escavação do solo e estimuladores de crescimento das raízes (HAINES, 1978). Caso as cortadeiras de folhas fossem totalmente eliminadas, ocorreria um profundo

desequilíbrio na estrutura destes ambientes, incluindo a possível extinção de espécies animais e vegetais (HOLLOBLER & WILSON, 1990).

3.3 CRIAÇÃO DE FORMIGAS CORTADEIRAS EM LABORATÓRIO

A criação de formigas cortadeiras em laboratório, nos últimos anos, vem se tornando uma prática comum entre muitos pesquisadores, sobretudo com fins de pesquisa, didático e demonstrativo. Estes estudos têm a finalidade de permitir o maior conhecimento do crescimento e comportamento da colônia das formigas e dos jardins de fungos (DELLA-LÚCIA, 1993). Segundo Vilela *et al.* (1995) as colônias criadas em laboratório têm servido para demonstrações didáticas, realizações de pesquisas com feromônios, testes de substâncias tóxicas e patogênicas, testes de preferências por plantas e estudos populacionais e comportamentais.

Há diversos sistemas descritos para o monitoramento de formigas cortadeiras em laboratório. Sistemas fechados, onde as formigas permanecem durante todo seu desenvolvimento dentro dos frascos. Parcialmente fechado, em que as formigas buscam alimento em cubas de vidro aberto, porém, com talco nas paredes para impedir escapes das operárias e, aberto, em que o forrageamento das operárias é livre sobre uma mesa (DELLA- LÚCIA *et al.*, 1987).

Aspectos da biologia de *Atta* foram estudados por Autuori (1940 e 1942), utilizando um sistema parcialmente fechado. Otamendi (1947) descreve, também, a criação satisfatória de saúveiros em um conjunto de câmaras, formadas por uma base de barro cozido, com 11,5 cm de altura e diâmetro de 16,0 cm. Carvalho (1972), a fim de estudar a divisão de trabalho entre operárias de *Atta sexdens rubropilosa*, produziu colônias iniciais a partir de içás capturadas após o vôo nupcial.

Para se iniciar uma criação, deve-se coletar um formigueiro nos primeiros meses após a revoada contendo a rainha e o fungo do qual ela se alimenta, colocando-os num recipiente. Este recipiente pode ser um pote plástico de 500 ml, contendo uma camada de aproximadamente 8 cm de solo ou 2 cm de gesso. Esses potes devem ser mantidos nas salas de criação com umidade acima de 75%, temperatura entre 25 e 27 °C e luminosidade controlada, com um fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro (DELLA-LÚCIA, 1993).

O sucesso da criação das formigas cortadeiras depende muito das condições do ambiente. A construção de salas especiais, sem janelas, providas de antecâmara e de acabamento adequado à limpeza rigorosa, com o mínimo de movimentação de pessoas, é importante na criação e manutenção das formigas (DELLA-LÚCIA, 1993).

Segundo Vilela *et al.* (1995) o fornecimento adequado de materiais é de fundamental importância para a vitalidade da colônia, pois dele vai depender o desenvolvimento da cultura de fungo. Para tal recomenda-se plantar uma área em que não se podem usar agrotóxicos e onde não haja qualquer possibilidade de contaminação química. As plantas devem ser diversificadas a fim de permitir variabilidade nutricional e disponibilidade de folhas e flores durante todo o ano.

Della-Lúcia (1993) cita que o suprimento de material vegetal sadio, livre de agrotóxicos, deve ser diário e variado, portanto, sempre que possível, deve-se manter uma área próxima do laboratório plantada com roseira, alfeneiro, hibisco, morangueiro, etc, que são muito apreciados pelas formigas para o corte. O suprimento diversificado promove maior disponibilidade de nutrientes essenciais para o bom crescimento do fungo.

3.4 CONVERSÃO DO MATERIAL VEGETAL EM RESÍDUO

Pelo fato de cortarem material vegetal e o transportarem para o interior de suas colônias, as saúvas tornam-se importantes agentes de acumulação de matéria orgânica no solo por meio de suas câmaras de descarte (lixo). Esse material acumulado é oriundo do processamento do fungo simbionte e pode se tornar uma fonte de nutrientes, sendo possível sua reabsorção pelas raízes das plantas por meio da ciclagem biogeoquímica de elementos. Entretanto, pouco se conhece a respeito das propriedades químicas do lixo, bem como sobre sua incorporação e mineralização nos solos. Alguns trabalhos têm focado a importância do fungo simbionte como fonte de C e N (ABRIL & BUCHER, 2004) e o balanço nutricional entre o fungo e o material de descarte para as operárias da colônia (BUCHER *et al.*, 2004); contudo, poucos estudos associam o conteúdo das câmaras de lixo à dinâmica de nutrientes nos solos (MOUTINHO *et al.*, 2003; VERCHOT *et al.*, 2003).

A composição química real do resíduo só pode ser obtida a partir do conhecimento preciso da composição química das folhas utilizadas como substrato e de uma coleta do material de descarte sem a presença do solo (BUCHER *et al.*, 2004).

Uma vez conhecida a composição química do lixo, pode-se estimar a sua contribuição às propriedades químicas do solo em amostragens de campo, ou seja, é possível conhecer os valores brutos de nutrientes que são transportados aos ninhos, bem como a quantidade bruta que é devolvida ao sistema por meio do material descartado pelas formigas (SOUTO *et al.*, 2007).

Segundo Guerra *et al.* (2007), o lixo de colônias de *A. sexdens rubropilosa* apresenta maiores concentrações de macronutrientes quando comparadas com os teores observados nas folhas utilizadas como substrato. Segundo os autores, essas concentrações são semelhantes aos encontrados em saueiros no campo, indicando a importância de colônias de *A. sexdens rubropilosa* na acumulação biológica de nutrientes e sua reciclagem em solos da região neotropical.

O acúmulo no subsolo de matéria orgânica do material vegetal cortado e incorporado ao fungo simbiote, bem como o material exaurido e carcaças de formigas mortas (lixo) modificam os solos, por aumentar a concentração de nutrientes liberados durante o processo de decomposição da matéria orgânica. Contudo, a determinação do dano por herbivoria e a quantidade de material vegetal acumulado no interior das colônias dessas espécies é alvo de controvérsias (AUTUORI, 1947; JONKMAN, 1977; FOWLER *et al.*, 1990).

O cálculo da taxa de conversão é uma forma de avaliação do dano da herbivoria, dividindo-se o peso (massa em gramas) do material cortado pelo resíduo produzido (AUTUORI, 1947). Utilizando-se esse método, as taxas de conversão de *Atta vollenweideri* Forel e *Acromyrmex landolti* Forel (Hymenoptera: Formicidae) foram estimadas em 1,5 e 1,8, respectivamente (JONKMAN, 1977). Entretanto, a qualidade do material cortado pode influenciar a produção de lixo (WEBER, 1976). Nesse caso, se a qualidade do substrato afeta essa produção, é possível que ela também altere as taxas de conversão das diferentes espécies de formigas cortadeiras (SOUTO, *et al.*, 2007).

Souto *et al.* (2007) citam que as colônias de *A. sexdens rubropilosa* tendem a aumentar o consumo de material vegetal de baixa qualidade. A taxa de conversão dessa espécie é de aproximadamente 1,5, independentemente da qualidade do

material forrageado. Segundo o autor, esse valor é semelhante ao encontrado em outras espécies no campo, indicando um valor comum do fator de conversão para diferentes espécies de formigas cortadeiras e de material vegetal transportado.

Recentes estudos têm demonstrado que o fungo simbiote cultivado pelas formigas cortadeiras não é eficiente em degradar celulose e lignina (ABRIL e BUCHER, 2002; 2004) e reforçando a hipótese de que, apenas, 11-27 % do material vegetal incorporado ao jardim de fungo seja metabolizado (ROBBINS, 1993). A digestibilidade de um substrato por organismos decompositores pode ser avaliada pela sua razão lignina/celulose, sendo que, quanto maior essa razão, menor a digestibilidade do material vegetal por esses organismos (LEE & WOOD, 1971). Por isso, plantas com razão lignina/celulose elevada podem dificultar ainda mais a ação digestiva do fungo simbiote, sendo consideradas de baixa qualidade e requerendo maior forrageamento (SOUTO *et. al*, 2007).

3.5 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO APLICADO AO ESTUDO DE COLÔNIAS DE FORMIGAS CORTADEIRAS (NIR)

A espectrometria no infravermelho próximo (NIR) é definida como a medição do comprimento de onda e intensidade da absorbância de luz infravermelha próxima realizada por amostra, em uma faixa de 800-2500nm (NISGOSKI, 2005). A intensidade de radiação que é refletida da superfície da amostra e analisada como uma função de comprimento de onda é usualmente apresentada como espectro de absorbância. As mudanças no espectro devido às mudanças na composição química podem ser quantificadas e são de utilidade técnica (POPE, 1995).

De uma forma geral, as ocorrências espectrais na região do NIR provêm de ligações das moléculas em que participam o hidrogênio, o que torna a técnica útil para a determinação de componentes orgânicos contendo ligações C-H, N-H e O-H (SCAFI, 2005).

Esta técnica é muito usada na medição quantitativa de grupos funcionais orgânicos e se apresenta como uma técnica rápida e eficiente em diversos campos de aplicação. As informações apresentadas nos espectros do infravermelho próximo podem ser empregadas para estimar a concentração de uma dada substância ou

propriedade física quando esta for, de qualquer maneira, reflexo de mudanças significativas na intensidade e/ou comprimento de onda dos espectros produzidos pela amostra (NISGOSKI, 2005).

Quando a radiação no infravermelho próximo é refletida por uma molécula, faz seus átomos vibrarem com maior amplitude, sendo que, desta forma o NIR contém informações relacionadas com a diferença entre as forças de ligações químicas, espécies químicas presentes, eletronegatividade e a ligação de hidrogênio (CARNEIRO, 2008).

A espectroscopia no infravermelho próximo tem sido reconhecida como uma eficiente técnica analítica para a rápida determinação de vários constituintes em muitos materiais agrícolas e outras matérias-primas. A técnica envolve a aquisição de um espectro absorvância/reflectância depois que a radiação de infravermelho próximo penetra em uma amostra. O espectro de NIR resultante é então comparado com medidas obtidas usando técnicas analíticas convencionais, usando análise multivariada (SEFARA *et al.*, 2000).

A tecnologia NIR foi desenvolvida em meados dos anos 70 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. A primeira aplicação foi proteína em trigo e gordura/óleo em soja, para permitir que as estações de manuseio de grãos pudessem pagar os fazendeiros de acordo com o teor de proteína/óleo, e segregar o trigo em diferentes silos. Os métodos clássicos de análises são muito lentos para este trabalho, desta forma NIR tem um forte retorno no segmento agrícola. É, portanto, lógico que tão logo as vantagens do NIR foram publicadas, a indústria procurou por outras aplicações, como por exemplo, na indústria de rações e controle de processo/controle de qualidade. A obtenção de informações rápidas referentes à composição específica de um produto é uma ferramenta de um valor incalculável para a garantia deste produto. Quanto mais rapidamente for determinada uma mudança de especificação deste produto, mais rápida uma correção poderá ser feita, implicando um melhor controle da qualidade e uma redução de custos, pois não haverá desperdício (SILVA, 2011).

Segundo Silva (2011) a técnica NIR é a ferramenta ideal para a determinação de componentes tais como gordura, proteína, umidade, fibras, açúcares, amido, etc. O NIR permite que estas análises sejam realizadas simultaneamente, com grande

reprodutibilidade e precisão, em menos de 1 minuto, com quase nenhum preparo da amostra.

Os dados obtidos pelo NIR podem ser avaliados qualitativamente por técnicas de agrupamento, tal como, a análise por componentes principais (PCA), que auxilia na identificação de semelhanças ou distinção no grupo de amostras. Além disso, os dados podem ser avaliados quantitativamente, através de métodos de regressão, sendo que as mais comuns são Regressão Linear Múltipla (MLR), Regressão por Componentes Principais (PCR) e Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) e, em todas se pressupõe uma relação linear entre os dados espectrais e a concentração ou propriedade a ser determinada (PASQUINI, 2003).

Segundo Carneiro (2008) quando aplicamos um algoritmo de PCA num conjunto de variáveis, como por exemplo, espectros no infravermelho, o conjunto original destas variáveis é substituído por um novo conjunto de variáveis denominado de Componentes Principais (CPs). Como vantagem, o novo conjunto de variáveis, geralmente, concentra a maior parte da informação em poucas variáveis, diminuindo a dimensionalidade dos dados, sem perda significativa da informação química. Estas componentes principais podem fornecer a percentagem de variância contida em cada fator. Todas as componentes juntas em um modelo fornecem 100% da variância e a maior percentagem é explicada pela primeira componente principal (CARNEIRO, 2008). O PCA decompõe a matriz X em duas matrizes menores, uma denominada *scores* (T) e a outra é a de *loadings* (P) (BRERETON, 2000). Usualmente *scores* estão relacionados com as amostras, enquanto os *loadings* relacionam-se com as variáveis (COCCO, 2008). O primeiro CP pode ser definido como o melhor ajuste em linha reta neste espaço multidimensional. Os *scores* representam a distância ao longo desta linha, e os *loadings* representam o ângulo (direção) da linha reta (COCCO, 2008), sendo que o gráfico dos *loadings* pode fornecer informação detalhada de quais variáveis estão associadas a quais amostras (BRERETON, 2007).

Justifica-se o estudo do NIR por ser uma técnica que apresenta como vantagens: análises não destrutivas, sem a utilização de produtos químicos, design robusto e compacto, análise múltipla de componentes, velocidade de resultados de análise (menos de um minuto), transferências de calibrações entre equipamentos (SILVA, 2011), ausência de preparação de amostras, simplicidade de procedimento

e melhor repetibilidade em comparação ao tradicional método de análises químicas (MAGALHÃES *et al.*, 2006) e ainda é uma tecnologia limpa, ou seja, ecologicamente correta, pois não gera resíduos (PASQUINI, 2003). Como desvantagem, a calibração requer: tempo, cuidado e conhecimentos básicos de estatística e computação (SILVA, 2011).

No Brasil, aplicação da espectroscopia no infravermelho próximo, nos últimos cinco anos, tem sido enfocada na análise de solos, medicamentos falsificados, controle de qualidade de lubrificantes, entre outros. Na área florestal muitos estudos vêm sendo desenvolvidos com a utilização do infravermelho próximo e técnica de análise multivariada, para a predição de propriedades da madeira (NIGOSKI, 2005)

Dentro da entomologia, especificamente com formigas, foi realizado um estudo na Austrália com o objetivo de correlacionar colônias de formigas utilizando o infravermelho próximo. Neste trabalho Newey *et al.* (2008) procuraram demonstrar, através de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS), que as formigas tecelãs *Oecophylla smaragdina* podem ser diferenciadas em relação às suas colônias e ninho de origem, sendo que 76,5% dos indivíduos das quatro colônias foram corretamente atribuídas a sua colônia de origem. Estes autores avaliaram as possíveis vantagens da utilização do NIR como uma alternativa mais rápida e menos dispendiosa para a análise destes insetos.

No Brasil, Antonialli *et al.* (2007) realizaram um estudo utilizando espectroscopia de infravermelho fotoacústica para distinguir diferentes castas de formigas *Ectatomma vizottoi*. Neste estudo os autores detectaram que as rainhas possuem maior teor de hidrocarbonetos que as operárias e os machos (Bitus), estando relacionado com a sua função na colônia.

Segundo Dowell *et al.* (1999) a correta identificação de insetos é fundamental para a previsão do desenvolvimento das populações de pragas e para a tomada de decisões gerenciais. No entanto, muitas pragas são difíceis de identificar, mesmo para pessoal treinado. Estes autores examinou a possibilidade de que o NIR poderia ser usado para fins taxonômicos, com base na premissa que cada espécie pode ter uma composição química única e evidenciou que as características de absorção de lipídios cuticulares dos insetos podem contribuir para a classificação das espécies. Acreditamos que essa tecnologia poderia ser usada para uma rápida e automatizada identificação de muitos outros organismos.

A técnica NIRS combinada com ferramentas quimiométricas através da refletância difusa de insetos mostra-se uma alternativa promissora para estudos biológicos relacionados à determinação de espécies, identificação de padrões evolutivos e detecção de variabilidade geográfica (FERNÁNDEZ, 2008).

3.6 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS INSETOS

Entre os componentes cuticulares dos insetos, geralmente os hidrocarbonetos perfazem um total que pode variar de 20-30% da composição. Estes compostos, entre outras funções são responsáveis pelo sistema de reconhecimento da espécie, além da função de prevenção contra dissecação destes insetos.

Os distintos compostos químicos presentes no exoesqueleto de insetos, geralmente apresentam grupos funcionais tais como, hidrocarbonetos, lipídios, alcoóis, aldeídos, cetonas, ésteres, nas quais as ligações químicas são do tipo X-H, que incluem C-H, N-H, S-H, O-H (FOLEY *et al.*, 1998; SCAFF *et al.*; 2006), sendo NIR utilizado para identificação de vários compostos específicos, bem como para fazer uma diferenciação entre espécies, gênero, idade e indivíduos (PEREZ-MENDOZA *et al.*, 2002; PEREZ-MENDOZA *et al.*, 2004; DOWELL *et al.*, 1999).

Embora as glândulas mandibulares estejam ligadas ao aparelho bucal, seu produto não é usado principalmente na ingestão e digestão dos alimentos. Segundo alguns autores, as glândulas mandibulares evoluíram separadamente a partir da função digestiva e adquiriu um papel relacionado com o comportamento (GAMA, 1985). De acordo com Brough (1978) e Delage-Darchen (1976), as glândulas mandibulares dos insetos, juntamente com as glândulas pós-faríngeas, produzem feromônios que são amplamente utilizados no estabelecimento da ordem social da colônia. Foi estabelecido que, em insetos, os processos como a fecundação, comunicação, integração social, a delimitação do território, etc, são funções que dependem diretamente do produto glandular (WILSON, 1971; MICHENER, 1974). Birch *et al.* (1974) observaram que a glândula mandibular é o local de síntese do feromônio de alarme em espécies da subfamília Ponerinae, Dorylinae, Myrmicinae e Formicinae.

Pavon & Mathias (2005) estudaram a ultra-estrutura das glândulas mandibulares de castas de formigas *Atta sexdens rubropilosa* (jardineiras, cortadeiras e soldados) através da Microscopia de Transmissão Eletrônica (MET). Neste estudo verificou-se que nas de três castas de *Atta sexdens rubropilosa*, a presença de grânulos de secreção lipídica sugeriu, além de outras funções, também uma possível ação de feromônios, sendo que as diferentes funções executadas pelas castas distintas destes insetos são diretamente dependentes dos produtos glandulares e, conseqüentemente, sobre as características de secreção celular.

Os feromônios desempenham um papel fundamental em muitos aspectos da vida dos insetos, e são geralmente divididos em duas categorias: substâncias voláteis secretadas por glândulas e hidrocarbonetos de cadeias longas encontradas na cutícula (Howard, 1993). Hidrocarbonetos cuticulares são conhecidos como "feromônios de superfície". Estes feromônios são importante para os insetos sociais, pois permitem o reconhecimento de indivíduos da mesma espécie, parentes, ou até mesmo membros de castas diferentes (BLOMQUIST *et al.*, 1998; LENOIR *et al.*, 1999). Recentes estudos sugerem que os teores de hidrocarbonetos de castas diferentes em uma colônia pode estar envolvido ao reconhecimento da colônia (BLOMQUIST *et al.*, 1998; LENOIR *et al.*, 1999).

Antoniali (2007) utilizou Espectroscopia Fotoacústica por Transformada de Fourier (FTIR-PAS), juntamente com a análise canônica discriminante para avaliar o espectro de absorção no infravermelho médio em diferentes castas da formiga *Ectatomma vizottoi*. O estudo investigou se o método pode ser utilizado para analisar amida secundária (queratina) e teor de hidrocarbonetos cuticulares, a fim de distinguir os machos, operárias e rainhas dos insetos sociais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 DADOS DE LABORATÓRIO

Os dados aqui nomeados de laboratório foram obtidos de colônias de formigas cortadeiras monitoradas no Laboratório de Proteção Florestal do Departamento de Ciências Florestais, localizado no Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Campus III da UFPR, Curitiba – Paraná.

Os materiais analisados foram amostras de mudas e folhas de *Eucalyptus grandis* utilizadas para suprir os formigueiros, os resíduos (lixo) produzidos pelas colônias, as castas de formigas (jardineira, cortadeira, soldado e rainha) e o fungo simbiote.

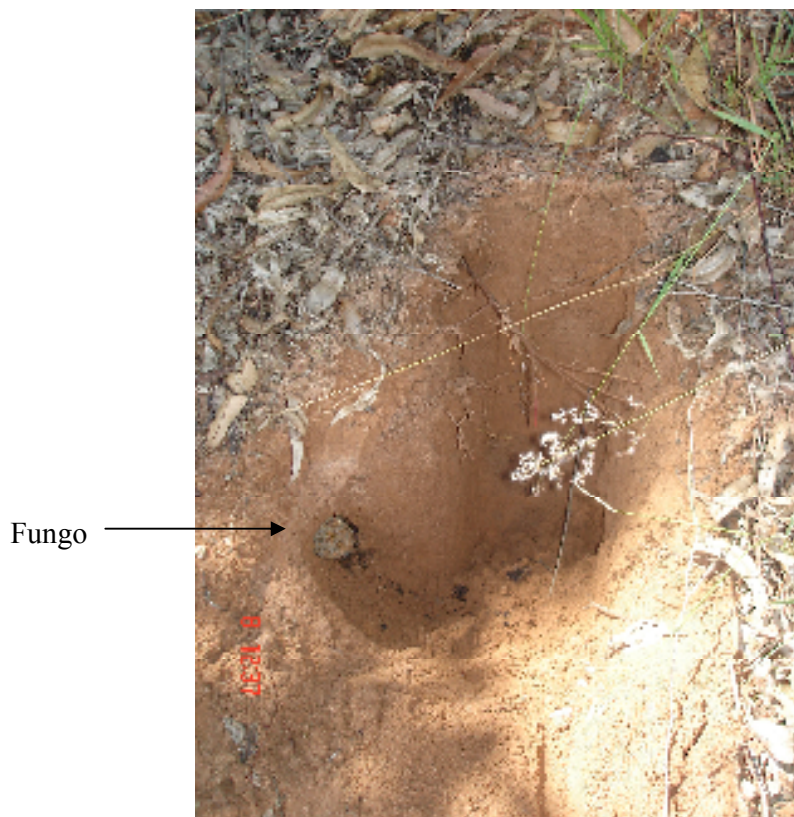
4.1.1 Formigueiros utilizados nos experimentos

O material biológico, ou seja, os formigueiros utilizados nos experimentos foram coletados nas áreas de ocorrência natural de *Atta sexdens rubropilosa* (Saúva-Limão), nos estados do Paraná e São Paulo, em plantios de *Eucalyptus grandis*, cerca de três meses após a revoada, que ocorre normalmente entre outubro e novembro. Foram coletadas 105 colônias em fevereiro de 2007 e 80 em fevereiro de 2010, a fim de garantir um número mínimo de sobrevivência das colônias para a realização dos experimentos.

A realização da coleta, cerca de três meses após a revoada, está baseada em relatos biológicos de autores como Autuori (1947) de que neste período os formigueiros sobreviventes já estão estabelecidos e encontram-se em uma profundidade média de 13,4 cm.

Os talhões com plantio de *Eucalyptus grandis* onde a coleta das colônias foi realizada, foi percorrido, sendo identificados os ninhos da espécie *Atta sexdens rubropilosa* nas linhas e entrelinhas do mesmo. Com o auxílio de um enxadão foram

feitas trincheiras laterais aos ninhos para que a colônia fosse retirada com mínimas perdas (Figura 2), tanto do fungo quanto das formigas e principalmente da rainha.



FONTE: O autor (2007)

FIGURA 2 COLETA DE FORMIGUEIROS TRÊS MESES APÓS A REVOADA. TRINCHEIRA ABERTA PARA A RETIRADA DO FUNGO. BOTUCATU- SP - BR

Após a abertura e visualização do ninho, com auxílio de uma colher, foram retirados todos os constituintes da colônia, que foram armazenados em recipientes plásticos (250 ml), com uma camada de ± 2 cm de gesso na base (Figura 3). Os procedimentos/conhecimentos práticos para a coleta das colônias foram obtidos em conversas informais com o Professor Dr. Luiz Carlos Forti no ano de 2007, na Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP.



FONTE: O autor (2007)

FIGURA 3 ARMAZENAMENTO DA COLÔNIA DE *Atta sexdens rubropilosa*. BOTUCATU- SP - BR.

Concluída a coleta, os ninhos foram armazenados e transportados para o Laboratório de Proteção Florestal - UFPR em caixas de isopor para evitar a perda de umidade e danos ao fungo, devido à exposição da luz solar.

No laboratório, o material coletado foi acondicionado em uma sala com condições controladas de temperatura e umidade, $\pm 25^{\circ}\text{C}$ e 70% de UR, respectivamente (Figura 4). Para impedir a entrada de raios ultravioletas (UVA), os vidros das janelas da sala foram isolados com papel alumínio, sendo utilizadas lâmpadas fluorescentes para sua iluminação.

Após a coleta as colônias passaram três meses num período de estabilização, sendo alimentados com flores e folhas de rosas (*Rosa x grandiflora* Hort.), alfeneiro (*Ligustrum lucidum*), robinia (*Robinia pseudoacacia*), amora (*Morus nigra*) e duas espécies de eucaliptos (*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*). As folhas destas plantas foram obtidas de plantas existentes no Campus III da UFPR ou em locais próximos. Após este período os primeiros experimentos começaram a ser realizados.



FONTE: O autor (2007)

FIGURA 4 MONITORAMENTO DE COLÔNIAS EM LABORATÓRIO. UFPR, CURITIBA – PR – BR.

Dentro do período de dois meses depois da coleta, quando as colônias começaram a se desenvolver, as mesmas foram alocadas para recipientes maiores (500 ml) e ligadas a um recipiente menor (250 ml), por uma mangueira de plástico de ± 2 cm de diâmetro, destinada a ser a panela de resíduo (Figura 5). De acordo com o crescimento das colônias, as mesmas foram sendo transferidas para recipientes maiores, porém, isso não é uma regra para todas as colônias coletadas, pois, os ninhos demoram diferentes períodos para se adaptar ao confinamento e reiniciar seu desenvolvimento.



FONTE: O autor (2010)

FIGURA 5 RECIPIENTE PARA O DESENVOLVIMENTO DA COLÔNIA. CURITIBA – PR -BR.

4.1.2 Suprimento das colônias com folhas de *Eucalyptus grandis*.

Concluído o período de adaptação, as colônias selecionadas para o experimento passaram a ser supridos com *Eucalyptus grandis*, por esta ser uma espécie florestal com alto nível de corte/desfolhamento pelos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* em campo, e pela facilidade de adquirir mudas desta espécie nos arredores de Curitiba. As mudas utilizadas no experimento foram doadas por um viveiro florestal da região metropolitana de Curitiba, chamado Itrópica Viveiro de Mudas.

4.1.3 Experimentação e determinação da taxa de conversão de folhas de *Eucalyptus grandis* em resíduos

Foram selecionadas 8 colônias de *Atta sexdens rubropilosa*, sendo 4 coletados em 2007 (denominados adultos) e 4 coletados em 2010 (denominados jovens). Tanto no grupo de colônias jovens, quanto no de adultos, foram selecionadas colônias com o mesmo padrão de desenvolvimento (tamanho), desta forma o corte das espécies vegetais, a princípio, ocorreu de forma proporcional em todos os formigueiros.

Escolhidas as colônias, durante 149 dias, estas foram supridas com folhas de mudas de *Eucalyptus grandis*. Antes do fornecimento das folhas para as colônias, estas eram pesadas em balança analítica e, na troca da alimentação no dia seguinte, o material não consumido era pesado novamente, assim obteve-se a quantidade de folhas que foram consumidas a cada 24 horas por cada colônia. Estes valores de consumo foram utilizados para a obtenção da taxa de conversão (relação do peso do material cortado pelo resíduo produzido).

Semanalmente eram coletados os resíduos gerados por cada colônia. Este era pesado (medida a massa) e por diferença, era contabilizada a quantidade de material que entrou na colônia (folhas de eucaliptos) e a quantidade que saiu na forma de resíduo. A taxa de conversão (AUTUORI, 1947) foi obtida entre os 30 e 149 dias do experimento, dividindo-se o peso do material cortado pelo resíduo

produzido, sendo que o resíduo dos primeiros 30 dias foi eliminado, pois, estes poderiam conter nutrientes das folhas de outras espécies vegetais que antecederam o experimento. O resíduo gerado por estas colônias durante este período foi separado para posterior análise (Figura 6). Assim, pode-se obter a proporção exata dos nutrientes que o fungo e a colônia consomem e o volume de resíduo gerado.



FONTE: O autor (2010)

FIGURA 6 – RESÍDUO DE *Atta sexdens rubropilosa*. CURITIBA – PR – BR.

4.1.4 Determinação do índice de utilização dos nutrientes

O resíduo das colônias coletadas em 2007 (adultos), obtido durante 119 dias de experimento, foram analisados, assim como amostras das folhas de eucaliptos fornecidas as colônias. Conhecendo a real composição deste resíduo e das folhas, podemos determinar por diferença, quais são os constituintes químicos (nutrientes) que as formigas utilizam para o desenvolvimento e quais são descartados e depositados no solo.

Durante 42 dias foi analisada a quantidade de folhas de *E. grandis* consumidas por oito colônias de *Atta sexdens rubropilosa* (4 colônias jovens e 4 formigueiros colônias). O volume e a população das colônias avaliadas foram, em média, de aproximadamente 350 cm³ de fungo e 2.000 operárias, respectivamente,

nas colônias adultas e de aproximadamente 185 cm³ de fungo e 900 operárias, respectivamente, nas colônias jovens.

Deve-se ressaltar que foram obtidos valores de consumo durante 149 dias, porém, estes não foram utilizados, pois, após 43 dias de experimento uma colônia jovem deixou de cortar as folhas de *Eucalyptus grandis* fornecidas a ele e alguns dias depois a rainha morreu. Esta situação ocorreu com outras colônias jovens no decorrer do experimento, sendo que estes foram substituídos durante a coleta de dados. Devido a este fato, foram utilizados somente os dados dos primeiros 42 dias do experimento, pois neste período todas colônias receberam o mesmo tratamento, com as mesmas condições ambientais, idade/meses das colônias, material vegetal, etc.

Os resíduos das colônias coletadas em 2010 (jovens) não puderam ser analisados, pois, não foi possível fazer uma amostra representativa deste material, com fundamentação estatística, pois, uma destas colônias morreu durante a experimentação. Em função disto os dados obtidos das colônias jovens foram utilizados somente para a análise de forrageamento e da taxa de conversão entre colônias adultas e jovens.

Foi realizada uma pré-secagem nas amostras dos resíduos e da espécie vegetal em estufa a uma temperatura média de 40 °C durante 30 dias para estabilizar os processos ou reações dos compostos voláteis (FALKENBERG, 2004; MÜLLER, 2006; MATTANA, 2009). As análises foram realizadas no final do experimento.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos e Plantas da Fundação ABC, Castro-PR, visando determinar a composição das folhas que eram fornecidas as formigas. O mesmo procedimento foi aplicado aos resíduos, com isto obteve-se a composição das folhas carregadas para a colônia e a composição dos resíduos gerados pelas colônias. A metodologia utilizada no laboratório foi proposta por Raij (2001), onde o material foi seco a 75 °C.

A massa usada para análise foi de 0,25 g tanto para a planta como para o resíduo. Os macro e micronutrientes analisados foram: Enxofre (S) e Fósforo (P): extração com ácidos nítrico/perclórico e leitura no UV-vis; Boro (B): queima da amostra em mufla e leitura no UV-vis; Nitrogênio (N): Dumas/Elementar. Demais elementos: Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (MG), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco

(Zn) e Manganês (Mn) foram extraídos com ácidos nítrico/perclórico e leitura na absorção atômica e, a matéria orgânica em $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Os dados foram analisados fazendo uma ponderação entre a quantidade de folha fornecida para as colônias e a quantidade de resíduo produzido por ele, para obter-se valores reais, pois, quando os resíduos eram enviados para a análise, estes eram resultado de semanas de coleta de resíduo, enquanto que as folhas ou mudas de eucaliptos eram analisadas de uma amostra de folhas. Por exemplo: durante 5 meses obtivemos 143 gramas de resíduo seco de uma colônias suprida com eucaliptos e nestes cinco meses foram fornecidos para as colônias 882 gramas de folhas frescas ou 673 gramas de folhas secas. Isto é, o resíduo era acumulado, enquanto que as folhas demonstraram o valor atual de nutrientes.

Os dados acumulados foram corrigidos a partir de um cálculo simples, no qual foram determinadas as quantidades de folhas fornecidas para as colônias em gramas, considerando este valor como 100%, e relacionando a quantidade de resíduo obtido (em porcentagem). Os cálculos estão demonstrados utilizando o exemplo anterior:

673 gramas de folhas secas – 100 % material fornecido

143 gramas de resíduo seco – X % material fornecido

$X = 21,25 \% \approx 21\%$

Ou seja, 143 gramas dos resíduos corresponderam a 21 % do material fornecido (folhas), ou seja, 1 grama de resíduo = 4,7 gramas de folha ($100\% \div 21,25\%$). Caso não fosse feita esta ponderação, a quantidade de nutrientes encontrados nos resíduos seria muito superior ao encontrado nas folhas.

4.1.5 Análises com infravermelho próximo (NIR)

Foram analisados os fungos, os resíduos das colônias de formigas cortadeiras, as folhas (mudas de *Eucalyptus grandis*) e as castas de soldados ou defensoras da colônia (formiga com maior largura de cápsula encefálica), as cortadeiras (formiga com largura da cápsula encefálica intermediária), jardineiras

(formiga com largura da cápsula encefálica menor), além das rainhas de colônias de *Atta sexdens rubropilosa* monitorados em laboratório.

Para a análise no infravermelho próximo, as amostras foram secas em estufa a 40 °C durante 30 dias. Esta temperatura de secagem foi utilizada para evitar redução das qualidades físicas e químicas do material estudado (FALKENBERG, 2004; MÜLLER, 2006; MATTANA, 2009). Esta secagem ocorreu com praticamente todas as amostras, com exceção do fungo simbiote, em que a leitura dos espectros dos fungos foi realizada diretamente sobre as colônias (Figura 7), para evitar a destruição dos mesmos.



FONTE: O autor (2010)

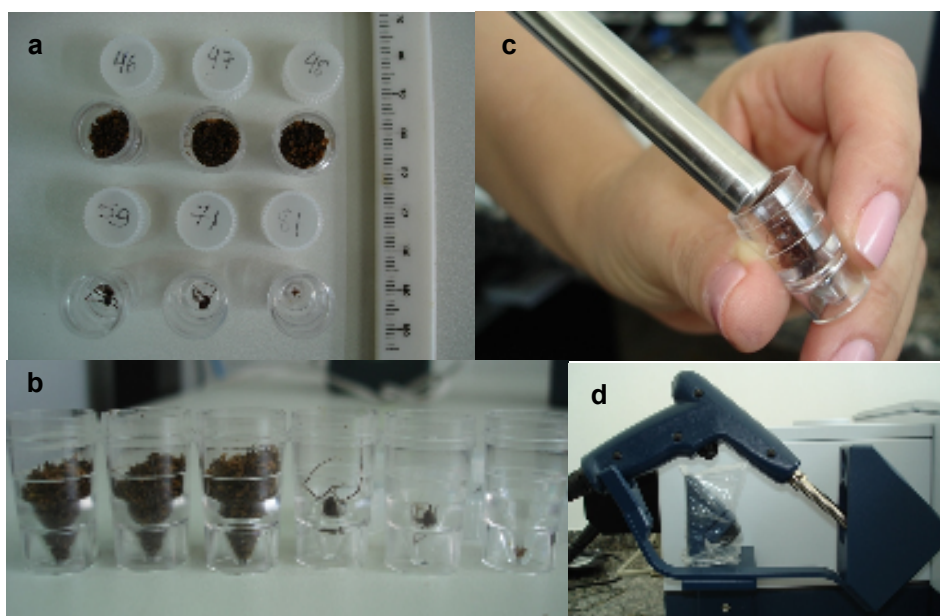
FIGURA 7 – LEITURA DOS FUNGOS SOBRE AS COLÔNIAS DE *Atta sexdens rubropilosa* MONITORADAS EM LABORATÓRIO. UFPR, CURITIBA – PR – BR.

As amostras de fungo, resíduo e formigas (castas) foram retiradas de quatro colônias adultas de *A. sexdens rubropilosa*. Estas colônias foram as mesmas utilizadas no experimento para avaliação dos nutrientes em laboratório, alimentados com *E. grandis*.

As amostras (formigas, resíduos e folhas) foram colocadas em pequenos frascos (2 ml), onde foi feita a leitura dos valores (Figura 8), e resultaram em 112 espectros, abrangendo:

- 40 espectros de formigas: 4 amostras de castas de colônias adultas de *Atta sexdens rubropilosa* X 10 repetições cada (10 soldados, 10 cortadeiras, 10 jardineiras e 10 rainhas).
- 20 espectros de fungos: 4 amostras de fungos de *Atta sexdens rubropilosa* X 5 repetições cada.
- 20 espectros de folhas secas: 5 amostras de folhas secas de *Eucalyptus grandis* X 4 repetições cada.
- 20 espectros de mudas frescas: 5 amostras de mudas frescas de *Eucalyptus grandis* X 4 repetições cada.
- 12 espectros de resíduo de fungos: 4 amostras de resíduo de fungos de *Atta sexdens rubropilosa* X 3 repetições cada.

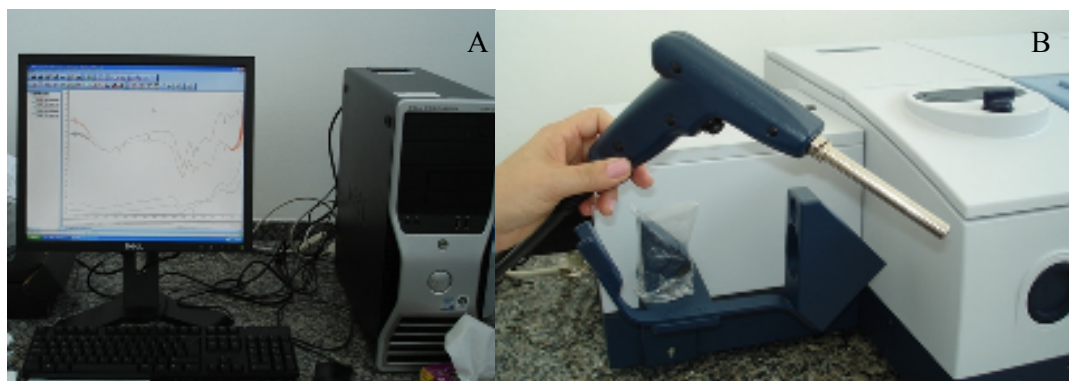
No caso específico deste estudo, a dificuldade de se obter resíduos em formigueiros de laboratório, inviabiliza as análises químicas de rotina. Assim o NIR é uma ferramenta que pode substituir estas análises, por utilizar uma pequena quantidade de material para amostragem, podendo ser utilizado também para a identificação das formigas e fungos de colônias monitoradas em laboratório, pois, é um método não destrutivo, preservando o material biológico.



FONTE: O autor (2011)

FIGURA 8 – (A E B) AMOSTRAS DE FOLHAS DE EUCALIPTOS, DE RESÍDUOS E FORMIGAS DE *A. sexdens rubropilosa* PARA ANÁLISE NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO. (C E D) EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA A OBTENÇÃO DOS ESPECTROS DE NIR. UFPR, CURITIBA – PR- BR.

As análises do NIR foram realizadas no Laboratório de Anatomia da Madeira, do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, Campus Jardim Botânico, utilizando o equipamento TENSOR 37 (Bruker) com detector InGaAs, onde se obteve espectros da absorbância destes materiais (Figura 9). Para a coleta de dados foi utilizado o modo de absorbância com o *probe* de fibra ótica (paralelo) com 2 m de comprimento, diâmetro de 10 mm no modo NIR, isto é, a região de análise foi do infra-vermelho próximo de $4000\text{-}10000\text{ cm}^{-1}$, com resolução de 8 cm^{-1} , número de 32 *scans*, os quais foram manipulados no programa OPUS 3.5 (Bruker), conforme se observa na Figura 9. Todas as amostras foram analisadas no mesmo dia, a fim de, evitar discrepância dos dados devido a diferença de umidade, temperatura que possam ocorrer em diferentes período de análise.



FONTE: O autor (2011)

FIGURA 9 – (A) PROCESSADOR DE DADOS – NIR. (B) PISTOLA LASER (INFRATERMELHO PRÓXIMO). UFPR, CURITIBA – PR – BR.

Para a melhor compreensão dos espectros do NIR foram realizadas leituras no infravermelho médio (FTIR) das amostras analisadas no NIR, com o objetivo de identificar quais os constituintes químicos das castas de formigas cortadeiras que causavam variações nos espectros do NIR.

Os espectros foram obtidos após a incorporação dos elementos constituintes do formigueiro em pastilhas de KBr coletados em um equipamento VERTEX 70 (Bruker), no Laboratório de Anatomia da Madeira, modo transmissão (FTIR), da região entre $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$, com resolução de 4 cm^{-1} e 32 *scans*, os quais foram manipulados no programa OPUS 3.5 (Bruker).

4.2 DADOS DE CAMPO

Os dados aqui nomeados de campo foram obtidos de amostras de solos com a presença de formigueiros e na ausência destes, em plantios de *Eucalyptus grandis*.

4.2.1 Área de estudo

As coletas desta etapa do trabalho foram realizadas em plantios florestais de *Eucalyptus grandis* pertencentes à empresa Fibria S.A., situados no município de Capão Bonito, Estado de São Paulo, Fazenda Santa Fé. As informações sobre as áreas onde foram realizadas as coletas encontram-se no quadro abaixo.

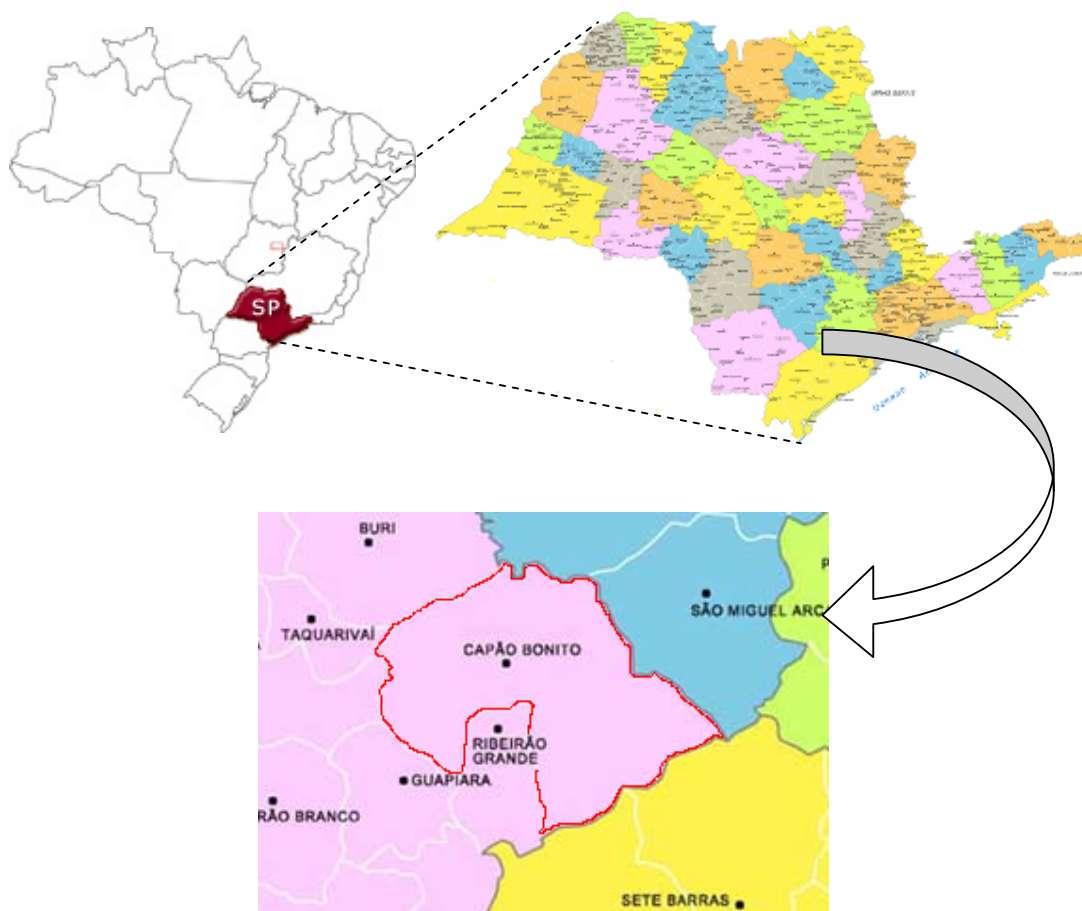
	Projeto	Talhão	Formigueiro/m²
Formigueiro 1	Projeto Retiro	38	± 50 m ²
Área sem formiga 1	Projeto Retiro	38	
Formigueiro 2	Projeto Sede Velha	17	± 28 m ²
Área sem formiga 2	Projeto Sede Velha	17	
Formigueiro 3	Projeto Retiro	51	± 32 m ²
Área sem formiga 3	Projeto Retiro	51	
Formigueiro 4	Projeto Retiro	51	± 42 m ²
Área sem formiga 4	Projeto Retiro	51	

QUADRO 1 - INFORMAÇÕES SOBRE AS ÁREAS ONDE FORAM REALIZADAS AS COLETAS DAS AMOSTRAS DE SOLOS. CAPÃO BONITO – SP - BR

FONTE: O autor (2011).

O município de Capão Bonito está localizado na Região Sudoeste do Estado de São Paulo (Figura 10), a 24°00'14" latitude Sul e a 48°20'54" longitude Oeste. Capão Bonito distancia-se a 222 km da cidade de São Paulo, possuindo clima temperado, com média máxima de 21 °C e média mínima de 14 °C, abrangendo uma área de 1.642 km², com altitude média de 705m. O solo do projeto foi classificado pela empresa como sendo Latossolo.

Em geral, os latossolos são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, mineralogia da fração argila predominantemente caulinítica ou caulinítica-oxídica, e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização. Distribuem-se por amplas superfícies no Território Nacional, ocorrendo em praticamente todas as regiões, diferenciando-se entre si principalmente pela coloração e teores de óxidos de ferro (EMBRAPA, 2006).



FONTE: Plano cartográfico do Estado de São Paulo, Edição 2002 (Adaptado).
FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – CAPÃO BONITO – SP - BR.

4.2.2 Delineamento experimental

O efeito dos resíduos dos formigueiros no solo foi testado utilizando-se uma área com presença de formigueiros e outra sem formigueiros (testemunha) em plantios de *Eucalyptus grandis* que apresentavam o mesmo tipo de solo (Latossolo).

Para avaliação do efeito dos resíduos sobre os nutrientes do solo foram escolhidas ao acaso, quatro colônias ativas de *Atta sexdens rubropilosa* adultas (Figura 11), neste caso, com mais de cinco olheiros e, a partir de cada colônia, foi determinado um ponto de, no mínimo, 50 m de distância dos saueiros, utilizando como área controle (testemunha), isto é, sem a presença de resíduos de colônias, para a coleta de amostras de solos.

Em cada formigueiro foram retiradas amostras de solo no centro do formigueiro nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm, com o objetivo de verificar a influência dos resíduos dos formigueiros sobre os componentes da fertilidade do solo nas diferentes profundidades.



FONTE: O autor (2010)

FIGURA 11- COLÔNIA ADULTA DE *Atta sexdens rubropilosa*. CAPÃO BONITO – SP - BR.

O mesmo procedimento foi repetido nas áreas sem a presença dos resíduos dos formigueiros nas mesmas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm, com o objetivo de comparar a área com e sem presença dos resíduos dos formigueiros nas diferentes profundidades (Figura 12).



FONTE: BELINOVSKI (2010).

FIGURA 12 - COLETA DE SOLOS NAS DIFERENTES PROFUNDIDADES. CAPÃO BONITO – SP.

No total foram coletadas 40 amostras de solos: 20 em áreas de formigueiros e 20 em áreas sem formigueiros com a utilização de um trato holandês (Figura 13).



FONTE: BELINOVSKI (2010).

FIGURA 13 - COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLOS COM A UTILIZAÇÃO DE UM TRATO HOLANDÊS. CAPÃO BONITO – SP.

Tendo em vista o estudo da correlação entre as profundidades e a área com e sem a ocorrência de formigueiros, aplicou-se um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e o arranjo dos tratamentos em parcelas subdivididas, com a presença e a ausência dos formigueiros nas parcelas e as profundidades nas sub-parcelas, sendo que o formigueiro é a unidade experimental.

As amostras de solos foram colocadas em sacos plásticos (Figura 14) e levadas para o Laboratório de Solos e Plantas da Fundação ABC, Castro-PR, no mesmo dia, para evitar que ocorressem mudanças na composição das mesmas.



FONTE: BELINOVSKI (2010)

FIGURA 14 - ACONDICIONAMENTO DOS SOLOS. CAPÃO BONITO – SP - BR.

4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas dos dados de campo e de laboratório foram realizadas utilizando o Software Assistat 7.5 Beta. Foi realizado o Teste Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias, a análise das variâncias (ANOVA) para a comparação de médias e o Teste de Tukey e o DMS (Teste de diferença mínima significativa) ao nível de 5% de probabilidade.

A análise dos dados dos espectros em NIR e FTIR foi realizada no programa Unscrambler 9.7 (CAMO), consistindo em uma análise de componentes principais (PCA) e os gráficos desenvolvidos no programa Origin 8.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS DE LABORATÓRIO

5.1.1 Determinação do consumo de folhas de *Eucalyptus grandis* pelos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa*

Durante o experimento as colônias de formigas adultas cortaram mais folhas e, conseqüentemente, depositaram mais resíduos que as colônias de formigas jovens, provavelmente porque a quantidade de operárias no formigueiro adulto era superior a do formigueiro jovem. As médias de consumo estão descritas na tabela 1.

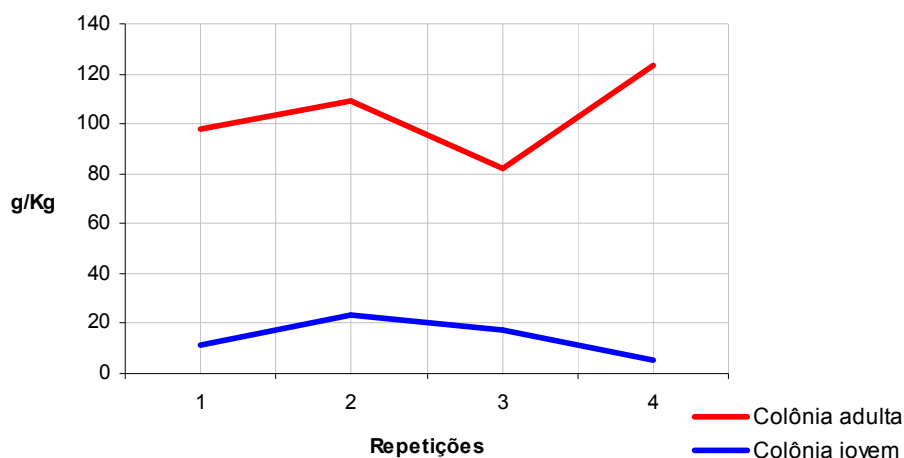
TABELA 1 - CONSUMO TOTAL DE FOLHAS DE *Eucalyptus grandis* (MATÉRIA SECA) PELAS COLÔNIAS DE *Atta sexdens rubropilosa* DURANTE 42 DIAS (CURITIBA, 2010).

TRATAMENTO	CONSUMO TOTAL (g)
1 - Colônia de formiga adulta	103.12 a
2 - Colônia de formiga jovem	14.28 b
QME	18.614.265
F	84.7729 **
CV	23,245

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 01$)

FONTE: O autor (2010)

Os formigueiros adultos apresentaram uma média de forrageamento de 103,12 gramas e os jovens de 14,28 gramas, em 42 dias (Gráfico 1). Estas médias são diferentes estatisticamente a um nível de 1% de probabilidade. Extrapolando estes valores para o período de um ano, o forrageamento por colônias adultas seria de aproximadamente 900 gramas e para as colônias jovens de 124 gramas.



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 1 - CONSUMO REALIZADO PELO FUNGO SIMBIONTE DE *Atta sexdens rubropilosa*

A princípio estes valores parecem pequenos, porém, considerando-se que no campo os formigueiros são maiores, esses valores podem ser expressivos, pois, o número de operárias (média ± 1.500) das colônias em laboratório foi pequeno, comparado ao de colônias adultas dessa espécie em habitat natural, pois, segundo Forti (2008) escavando um formigueiro de *A. sexdens rubropilosa* estimou que pudessem ocorrer entre 3,5 a 7 milhões de indivíduos em uma colônia adulta. Além disso, a densidade de colônias de *A. sexdens rubropilosa* pode ser superior a 50/ha, entre formigueiros novos e adultos, segundo Araújo *et al.* (1997) e Zanetti *et al.* (2003) em povoamentos de *Eucalyptus* spp.

Durante 42 dias de avaliação os formigueiros jovens produziram 10,40 gramas de resíduos e foram consumidos 14,28 gramas de folhas e os formigueiros adultos 64,33 gramas de resíduos e 103,12 gramas de folhas de *Eucalyptus grandis*, respectivamente. O fator de conversão médio encontrado por estes formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* alimentados com *E. grandis* nestas condições de laboratório (temperatura ± 25 °C e umidade entre 60 e 80%) foi de 1,37 para os formigueiros jovens e de 1,60 para os formigueiros adultos. A média do fator de conversão entre os formigueiros adultos e jovens monitorados em laboratório foi de 1,49. Este valor é próximo do encontrado por Souto *et al.* (2007) que em seus experimentos encontrou fatores de conversão entre 1,45 e 1,63, porém, difere dos dados encontrados por Autuori (1947) que encontrou um fator de conversão em torno de 12,4. Autuori (1947) analisou o fator de conversão realizado por colônias

de *Atta sexdens rubropilosa* alimentado-as com folhas de laranjeira, mesocarpo de laranjas, folhas de roseira e pétalas de rosas.

Paralelamente aos experimentos realizados com folhas de *E. grandis* foram realizados experimentos com folhas de outras espécies de vegetais, como *Eucalyptus dunnii* e *Ligustrum lucidum* (alfeneiro) e foram verificados fatores de conversão semelhantes ao encontrado com *E. grandis*, sendo eles 1,61 e 1,38 respectivamente (UKAN, 2011). Esta informação corrobora com Souto *et al.* (2007) que cita que a qualidade do material vegetal não afeta a taxa de conversão de colônias de *A. sexdens rubropilosa*, apesar de alterar a quantidade de material forrageado e a produção de resíduo. Estes valores de conversão também foram próximos aos de *A. vollenweideri* (1,5) e *Acromyrmex landolti* (1,8) em trabalhos de campo (JONKMAN, 1977), apesar de estas espécies serem cortadeiras de grama.

Considerando a quantidade de folhas consumidas (117,39 g) e a quantidade de resíduo depositado (74,73 g) pelos formigueiros jovens e adultos, observou-se que 63,65% do material fornecido aos formigueiros converteram-se em resíduos. Este valor corrobora com Lugo *et al.* (1973) que cita nos seus trabalhos que 64,57% do material carregado para a colônia é devolvido as placas de resíduos. No campo este percentual de 63,65% poderia ser incorporado ao solo como matéria orgânica, assim, considerando-se que no campo 1 formigueiro pode consumir 1 tonelada de folhas em 1 ano (AMANTE, 1967), aproximadamente, 636,5 kg de resíduos poderiam ser incorporadas ao solo.

5.1.2 Análise dos nutrientes presentes nas folhas de *Eucalyptus grandis* e no resíduo gerado por *Atta sexdens rubropilosa*

Analisando as tabelas 2 e 3 verificamos que foram encontradas em 1 Kg de folhas de *Eucalyptus grandis*, aproximadamente, 22,3 g/kg de nitrogênio, 3,4 g/kg de fósforo, 10,4 g/kg de potássio, 9,5 g/kg de cálcio, 5,5 g/kg de magnésio, 1,6 g/kg de enxofre, 0,090 g/kg de ferro, 0,003 g/kg de cobre, 0,029 g/kg de zinco, 0,009 g/kg de boro e 0,072 g/kg de manganês.

Nos resíduos gerados pelos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* foram encontradas, aproximadamente, 7,7287 g/kg de nitrogênio, 1,4415 g/kg de fósforo,

5,3027 g/kg de potássio, 5,9213 g/kg de cálcio, 2,2452 g/kg de magnésio, 0,8085 g/kg de enxofre, 0,0577 g/kg de ferro, 0,0028 g/kg de cobre, 0,0095 g/kg de zinco, 0,0043 g/kg de boro e 0,0160 g/kg de manganês.

Observando estes dados podemos concluir que todos os nutrientes apresentaram médias superiores de ocorrência de nutrientes nas folhas em relação aos obtido nos resíduos, diferindo estatisticamente destes a um nível de probabilidade de 1% (Tabelas 2 e 3).

Deve-se ressaltar que mesmo os valores dos resíduos sendo inferiores ao encontrados nas folhas, muitos dos nutrientes que os formigueiros retiram das folhas são devolvidos ao solo. Por exemplo, das 22,3 gramas de nitrogênio que foram transportadas para os formigueiros através das folhas, aproximadamente 7,7287 gramas são devolvidas ao solo através dos resíduos dos formigueiros. Isto significa que, percentualmente, dos 100% de nitrogênio fornecido à colônia de *Atta sexdens rubropilosa*, 65% são utilizados para o desenvolvimento da colônia e, aproximadamente, 35% deste nutriente retorna aos solos após o seu descarte nas panelas de lixo ou resíduo. Isto é, mais de 35% do nitrogênio retirado das folhas retornam ao solo e podem ser novamente disponibilizados para as plantas. Deve-se considerar que estes valores foram obtidos em laboratório, desconsiderando-se neste caso, a degradação e a lixiviação dos nutrientes que podem ocorrer em uma situação de campo. Wagner *et al.* (2004) cita que por unidade de área, os ninhos de formigas cortadeiras apresentaram 6% a mais de matéria orgânica do que solos circundantes e, verificou-se teores de armazenamento superior de N total (140%), N mineral (460%), e ortofosfato (215%) em ninhos de formigas do que nos solos circundantes (WAGNER *et al.*, 2004).

Utilizando a mesma metodologia de análise, a quantidade de fósforo que retorna ao solo após a utilização das folhas pelo formigueiro é de, aproximadamente, 42%, o potássio de 51%, o cálcio de 62%, o magnésio de 41%, o enxofre de 49%, o ferro de 64%, o cobre de 89%, o zinco de 33%, o boro de 47% e o manganês de 22%. Podemos verificar nestes dados que dos 100% de nutrientes presentes nas folhas de *Eucalyptus grandis* consumidas por colônias de *Atta sexdens rubropilosa*, em média, 49% destes nutrientes retornam ao solo na forma de resíduos, para serem disponibilizados no solo e reutilizados pelas plantas.

TABELA 2 – TEORES DE MACRONUTRIENTES ENCONTRADOS NAS FOLHAS DE *Eucalyptus grandis* E NO RESÍDUO DE *Atta sexdens rubropilosa* (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTO	NUTRIENTES (g/kg ⁻¹)					
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre
1-Folha	22.32500 a	3.42000 a	10.35500 a	9.48000 a	5.50250 a	1.63500 a
2-Resíduo	7.72872 b	1.44149 b	5.30266 b	5.92128 b	2.24521 b	0.80851 b
QME	0.07478	0.01261	0.11587	0.80331	0.01947	0.00640
F	5698.1813 **	620.8218 **	440.6101 **	31.5307 **	1089.7696 **	213.4165 **
CV	1,820	4,620	4,348	11,639	3,602	6,549

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p <01)

FONTE: O autor (2011)

TABELA 3 – TEORES DE MICRONUTRIENTES ENCONTRADOS NAS FOLHAS DE *Eucalyptus grandis* E NO RESÍDUO DE *Atta sexdens rubropilosa* (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTO	NUTRIENTES (g/kg ⁻¹)				
	Ferro	Cobre	Zinco	Boro	Manganês
1-Folha	0,09035 a	0,00315 a	0,02932 a	0,00921 a	0,07174 a
2-Resíduo	0.05770 b	0.00279 a	0.00954 b	0.00434 b	0.01600 b
QME	0.00004	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
F	57.8836 **	2.0716 ns	1836.3234 **	196.3879 **	15965.3671 **
CV	8,199	12,008	3,361	7,256	1,422

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p <01)

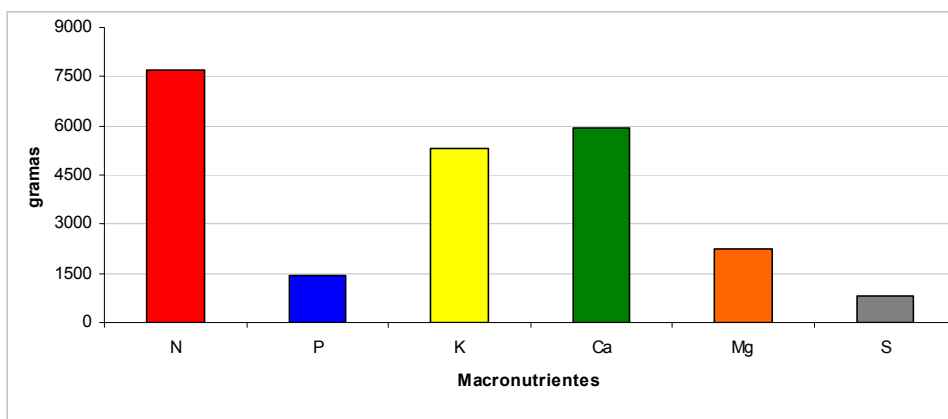
FONTE: O autor (2011)

Ao analisarmos estes valores do ponto de vista ecológico, constatou-se que estes insetos utilizam material vegetal para se desenvolverem e depois devolvem ao solo nutrientes, através do resíduo gerado no formigueiro, participando da ciclagem de nutrientes. Se considerarmos o tamanho das colônias e o tempo que estes ninhos podem permanecer no ambiente, em torno de 20 anos, essa contribuição ecológica pode ser expressiva.

Utilizando os valores encontrados nas tabelas 2 e 3 e transformando-os em percentuais, se em 1 Kg de folhas de *Eucalyptus grandis* possui em média: 22,3 g de nitrogênio, 3,4 g de fósforo, 10,4 g de potássio, 9,5 g de cálcio, 5,5 g de magnésio, 1,6 g de enxofre, 0,09 g de ferro, 0,003 g de cobre, 0,029 g de zinco, 0,009 g de boro e 0,072 g de manganês, e extrapolarmos estes valores para uma tonelada, pois, sabe-se que em média, um saueiro adulto de aproximadamente 3 anos de idade é capaz de cortar uma tonelada de folhas verdes por ano (AMANTE, 1975), teremos: 22.300 g de nitrogênio, 3.400 g de fósforo, 10.400 g de potássio, 9.500 g de cálcio, 5.500 g de magnésio, 1.600 g de enxofre, 90 g de ferro, 3 g de cobre, 29 g de zinco, 9 g de boro e 72 g de manganês sendo absorvidos pelo formigueiro. Se considerarmos que 35% do nitrogênio das folhas retornam o solo, assim como, 42% do fósforo, 51% do potássio, 62% do cálcio, 41% do magnésio,

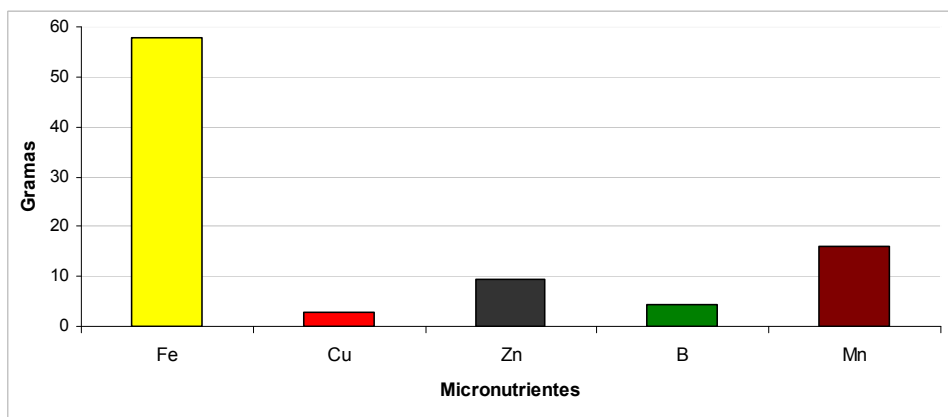
49% do enxofre, 64% do ferro, 89% do cobre, 33% do zinco, 47% do boro e 22% do manganês retornam ao solo através do resíduo dos formigueiros, podemos chegar aos seguintes cálculos:

Após o corte de 1 tonelada/ano de vegetais por 1 formigueiro adulto de *Atta sexdens rubropilosa*, retornam ao solo, aproximadamente: 7.729 g de nitrogênio; 1.441 g de fósforo; 5.302 g de potássio; 5.921 g de cálcio; 2.245 g de magnésio, 808,51 g de enxofre, 57,70 g de ferro, 2,79 g de cobre, 9,54 g de zinco, 4,34 g de boro e 16 g de manganês. Estes valores serão representados nos gráficos 2 e 3, separando-os em macro e micronutrientes para melhor visualização dos dados.



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 2 – QUANTIDADE DE MACRONUTRIENTES QUE RETORNAM AO SOLO ATRAVÉS DO RESÍDUO DE *Atta sexdens rubropilosa* APÓS SEREM ALIMENTADOS COM *Eucalyptus grandis*.



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 3 – QUANTIDADE DE MICRONUTRIENTES QUE RETORNAM AO SOLO ATRAVÉS DO RESÍDUO DE *Atta sexdens rubropilosa* APÓS SEREM ALIMENTADOS COM *Eucalyptus grandis*.

Ou seja, das 52.903 g ou 52,90 Kg de nutrientes que poderiam estar contidos e 1 tonelada de folhas, aproximadamente, 23.538,24 g ou 23,54 Kg retornam ao solo através do resíduo gerado pelos formigueiros.

Tomando-se por base estes valores, podemos dizer que as colônias de formigas cortadeiras adultas são relevantes quando se trata de ciclagem de nutrientes sobre a vegetação adjacente, principalmente, em locais com altos índices de infestação destes insetos, pois, apesar de cortarem as folhas das árvores e reduzirem a ciclagem de nutrientes e a fixação de carbono, estas devolvem parte dos nutrientes ao solo, através da deposição do resíduo gerado por estes insetos. Lugo *et al.* (1973) estimou que uma colônia de formigas cortadeiras reduziu a produção bruta de uma floresta de várzea tropical úmida, na Península de Osa - Costa Rica, em 1,76 Kcal/m² dia, porém, a produção líquida da floresta foi acelerada através do retorno do resíduo para o solo, rico em fósforo, em pelo menos 1,80 Kcal/m² dia. Ainda Souto *et al.* (2007) cita que o efeito negativo das saúvas sobre a biomassa vegetal, por meio da herbivoria, pode ser compensado, uma vez que considerável fração da vegetação pode acessar os macronutrientes disponibilizados no interior das colônias e acelerar a recuperação da vegetação como um todo. Confirmando desta forma, através da literatura, as informações encontradas neste trabalho,

Considerando que um formigueiro pode permanecer durante 20 anos em um local e que ocorram três ou mais formigueiros adultos por hectare, os valores presentes no gráfico 2 se tornam bem relevantes.

Usando como exemplo o fósforo e o potássio, teremos:

- um formigueiro adulto concentra no solo 1.441,49 g de fósforo/ano; com 20 anos este único formigueiro concentra no solo 28.829,80 g de fósforo. Se considerarmos uma média de 3 formigueiros por hectare, teremos um retorno de, aproximadamente, 86.489,40 g ou, aproximadamente, 86 Kg de fósforo/3formigueiros/ha/20 anos.

- um formigueiro adulto concentra no solo 5.302,66 g de potássio/ano; multiplicando por 20 anos e por três colônias de formigas cortadeiras adultas/ha, teremos um retorno de, aproximadamente, 318.159,6 g ou, aproximadamente, 318 Kg de potássio/3formigueiros/ha/20 anos.

Estes dados indicam que os solos de saúveiros podem ter maiores concentrações de nutrientes do que solos de áreas adjacentes.

Em contrapartida, outro fator que pode ser considerado é que da mesma maneira que a formiga acelera o processo da ciclagem de nutrientes por cortar as folhas das árvores e levar para o sub-solo, disponibilizando nutrientes para a vegetação adjacente através do resíduo gerado pelo formigueiro, deve-se considerar que as formigas, geralmente, cortam folhas novas, que estão no auge do seu desenvolvimento, isto é, a planta necessita de muita energia e nutrientes para a formação destas folhas, que são as preferidas pelas formigas.

A partir do momento que estas folhas são retiradas das plantas pelas formigas cortadeiras, estas plantas necessitarão buscar mais energia e nutrientes no solo para formar novas folhas. Assim, da mesma maneira que as formigas contribuem para a ciclagem de nutrientes levando folhas e demais vegetais para decompor no subsolo, as plantas que sofreram o ataque desta praga necessitarão retirar mais nutrientes do solo onde se encontram, diminuindo o estoque de nutrientes do solo. Ainda sobre este assunto, deve-se lembrar que as folhas das árvores que caem no solo, pelo processo natural, já estão em estado de senescência, isto é, os nutrientes que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento já foram retirados destas folhas e por isso são dispensadas. Neste caso, as formigas ao cortarem as folhas mais jovens invertem o processo natural, que seria a permanência destas folhas na planta até que elas desempenhem de forma completa a sua função, ou seja, transpiração, respiração, fotossíntese, acúmulo de nutrientes e conseqüentemente, o crescimento em volume. Assim, embora os formigueiros tragam benefícios para a ciclagem de nutrientes do solo e especialmente para a melhora da qualidade física e química do solo no local onde os formigueiros estão inseridos, também são efetivamente prejudiciais para a produção volumétrica das florestas, resultando em danos econômicos.

Outro fator importante que devemos considerar é que todo organismo tem sua importância ecológica, ou seja, que está em um ambiente porque as condições são favoráveis. No caso de formigas cortadeiras os ambientes favoráveis são, principalmente, áreas degradadas. Os formigueiros, geralmente, têm incidência nestas áreas, até porque não existem maiores informações em áreas equilibradas, pois estas, não são alvo de estudos.

Seguindo esta linha de raciocínio, os formigueiros ocupam um lugar no ambiente e sua função seria propiciar condições para que este fique equilibrado, possibilitando o estabelecimento de organismos que não estariam neste sistema

sem as condições adequadas. Neste caso, as condições seriam o revolvimento do solo, o controle de populações de determinadas plantas, a introdução/carregamento de sementes e a deposição de nutrientes. Ao longo do tempo o ambiente entra em equilíbrio, ocorrendo o estabelecimento de novas plantas e animais, e, conseqüentemente, os formigueiros diminuem sua infestação devido à presença dos inimigos naturais e aumento do sub-bosque. Esta é uma possível teoria para a função dos formigueiros no ambiente, porém, seriam necessárias algumas décadas para se acompanhar esta evolução e observar se realmente ela acontece.

Deve-se salientar que esta análise condiz com o aspecto ecológico que envolve as formigas cortadeiras em relação à deposição de resíduos e a melhoria das propriedades químicas e físicas do solo, comprovando a teoria que todo organismo tem um papel ecológico. Neste contexto, não se defende a permanência de formigueiros em plantios florestais, pois, a permanência destes é incompatível com o bom desenvolvimento de florestas plantadas, devido aos altos índices de danos que estes insetos causam nestas áreas.

Neste caso, estamos destacando a importância dos formigueiros para o ambiente na recuperação de áreas dentro de um processo natural. Não se deve confundir o fato de ter sido utilizado plantios florestais para o desenvolvimento do trabalho em campo, pois, estes foram utilizados porque era necessário diminuir o número de variáveis, que seriam muito maiores em uma floresta nativa, bem como seria muito difícil ou impossível homogeneizar os resíduos trabalhando com várias espécies e, principalmente, com espécies que não possuem muitas informações. Assim, foram escolhidos os plantios de eucaliptos por este ser uma espécie consumida pelas colônias de formigas cortadeiras e possuir padrões nutricionais determinados, fato que não ocorre com a maior parte das espécies nativas.

5.1.3 Nutrientes utilizados pelos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* presentes nas folhas de *Eucalyptus grandis*

Utilizando os dados das tabelas 2 e 3 foi possível determinar a quantidade de nutrientes fornecida aos formigueiros através das folhas e a quantidade que estes assimilaram para alimentar o fungo *Leucoagaricus gongylophorus* e,

conseqüentemente, suprir parte das necessidades nutricionais das colônias de *Atta sexdens rubropilosa* (tabela 4).

Conhecendo as concentrações dos nutrientes nas folhas e no resíduo gerado pelos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* é possível avaliar quais são os nutrientes utilizados no desenvolvimento do fungo simbiote e conseqüentemente da colônia.

Observando-se a tabela 4 nota-se que o nutriente encontrado em maior concentração percentual nas folhas de *Eucalyptus grandis* é o nitrogênio com 42%, seguido do potássio com 20%, cálcio com 18%, magnésio com 10%, o fósforo com 6%, o enxofre com 3%, o ferro, o manganês, o zinco, o boro e o cobre apresentaram menos de 1% da concentração de nutrientes nas folhas, representando 0,17%, 0,14%, 0,06%, 0,02% e 0,01%, respectivamente.

TABELA 4 - NUTRIENTES UTILIZADOS PELO FUNGO SIMBIONTE DE *Atta sexdens rubropilosa* EM FOLHAS DE *Eucalyptus grandis* (CURITIBA, 2011).

	Nutriente	Folhas (g)	Colônia (g)	Resíduo (g)	Folhas (%)	Colônia (%)	Resíduo (%)
Macro nutrientes	Nitrogênio	22,325	14,596	7,729	42	65	35
	Fósforo	3,420	1,979	1,441	6	58	42
	Potássio	10,355	5,052	5,303	20	49	51
	Cálcio	9,480	3,559	5,921	18	38	62
	Magnésio	5,503	3,258	2,245	10	59	41
	Enxofre	1,635	0,826	0,809	3	51	49
Micro Nutrientes	Ferro	0,090	0,032	0,058	0,17	36	64
	Cobre	0,003	0,000	0,003	0,01	11	89
	Zinco	0,029	0,019	0,010	0,06	67	33
	Boro	0,009	0,005	0,004	0,02	53	47
	Manganês	0,072	0,056	0,016	0,14	78	22
	SOMA	52,921	29,383	23,538	MÉDIA	51	49

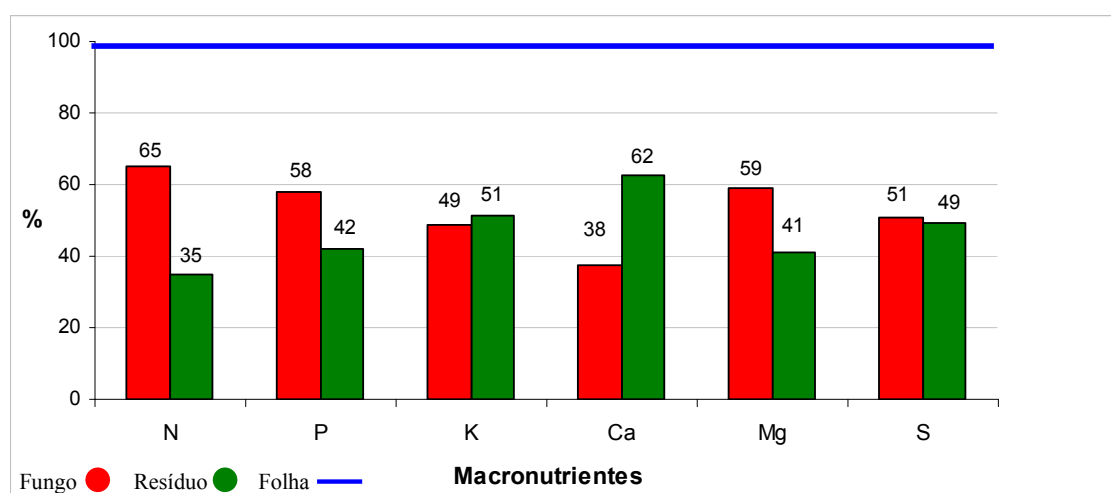
FONTE: O autor (2011)

Deduzindo os valores dos resíduos em relação aos nutrientes encontrados nas folhas, pode-se perceber através dos dados da tabela 4, que o macronutriente mais consumido percentualmente pelo fungo simbiote e a colônia de formigas foi o nitrogênio com 65% do total deste nutriente presente na folha, seguido pelo o magnésio (59%), o fósforo (58%), o enxofre (51%), o potássio (49%) e o cálcio (38%). O micronutriente mais consumido pelo fungo simbiote foi o manganês, com 78% do total deste nutriente presente na folha, seguido pelo zinco (67%), o boro (53%), o ferro (36%) e o cobre (11%).

Analisando a coluna, da tabela 4, referente ao resíduo depositado pelo formigueiro, podemos observar que dos 100% dos nutrientes fornecidos pelas

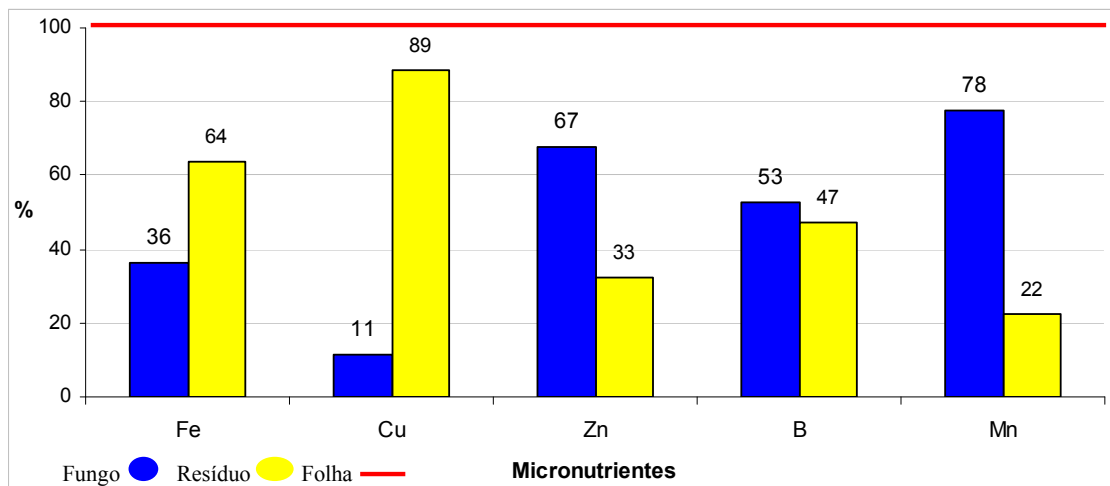
folhas, em média, aproximadamente 51% é utilizado pela colônia e o restante, 49% retorna ao solo através do resíduo das formigas cortadeiras, como já citado anteriormente no item 5.1.2. O zinco foi aproveitado em 67% pelo fungo simbiote. Aproximadamente 58% do fósforo proveniente do material vegetal foi utilizado para o desenvolvimento do fungo e da colônia, sendo que 42% retorna para o solo. Valores semelhantes foram obtidos para o magnésio, sendo 59% aproveitado pelo fungo e 41% retornando ao solo.

Em relação ao potássio e o enxofre, aproximadamente 49% e 51%, respectivamente, foi utilizado pelo fungo e os outros 50% retornaram ao solo. Já o cálcio, 38% é utilizado pelo fungo e a colônia de *Atta sexdens rubropilosa* e 62% destes nutrientes retornam ao solo. Aproximadamente 36% do ferro foi utilizado pela colônia de formigueiros e seu fungo simbiote, sendo que 64% retornou ao solo na forma de resíduo. Em relação ao cobre, 11% deste nutriente foi utilizado pelo fungo e a colônia de formigas e 89% foi devolvido ao solo. O boro apresentou um consumo de 53% pelas formigas e fungo simbiote, conseqüentemente, 47% deste nutriente retornou ao solo. Já o manganês foi o nutriente mais requisitado ou que mais foi retirado da folhas de *Eucalyptus grandis*, sendo que 78% do total inicial foi consumido pela colônia de formigas cortadeiras e por seu fungo simbiote, retornando ao solo 22% deste nutriente. O gráfico 4 e 5 representa este valores, de acordo com os macro e micronutrientes utilizados pelo fungo simbiote.



FONTE: O autor (2011).

GRÁFICO 4 - MACRONUTRIENTES UTILIZADOS PELO FUNGO SIMBIOTE E A COLÔNIA DE *Atta sexdens rubropilosa* EM FOLHAS DE *Eucalyptus grandis*.



FONTE: O autor (2011).

GRÁFICO 5 - MICRONUTRIENTES UTILIZADOS PELO FUNGO SIMBIONTE E A COLÔNIA DE *Atta sexdens rubropilosa* EM FOLHAS DE *Eucalyptus grandis*.

Pode-se verificar, a partir da análise dos dados coletados de formigueiros monitorados em laboratório, que em média 49% dos nutrientes retirados das folhas para a nutrição da colônia retornam ao solo na forma de resíduo e que, percentualmente, o macronutriente mais utilizado das folhas para o cultivo do fungo simbiote e alimentação do formigueiro é o nitrogênio e o micronutriente é o manganês.

Quando apresentamos os teores de nutrientes consumidos pelo fungo simbiote, cultivado pelos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa*, estamos utilizando os valores encontrados nas folhas e deduzindo-os do resíduo. Isto é, este valor dito como consumido é originado da diferença entre a folha e o resíduo. Desta forma, é importante ressaltar que parte dos nutrientes podem não ter sido consumidos pelo fungo e pelas operárias, podendo ter se perdido por outro motivo, porém, como este não aparece no resíduo, deduziu-se que este foi consumido pela colônia. É importante ressaltar que são escassas as informações na literatura para que se possa discutir, especificamente, qual a importância de cada nutriente para o desenvolvimento da colônia de formigas cortadeiras e, quais e quanto de nutrientes eles consomem.

Para identificar a importância de cada um destes nutrientes para o desenvolvimento do fungo simbiote e da colônia de formigas cortadeiras, seria necessário isolar e cultivar o fungo em diferentes meios de cultura, oferecendo

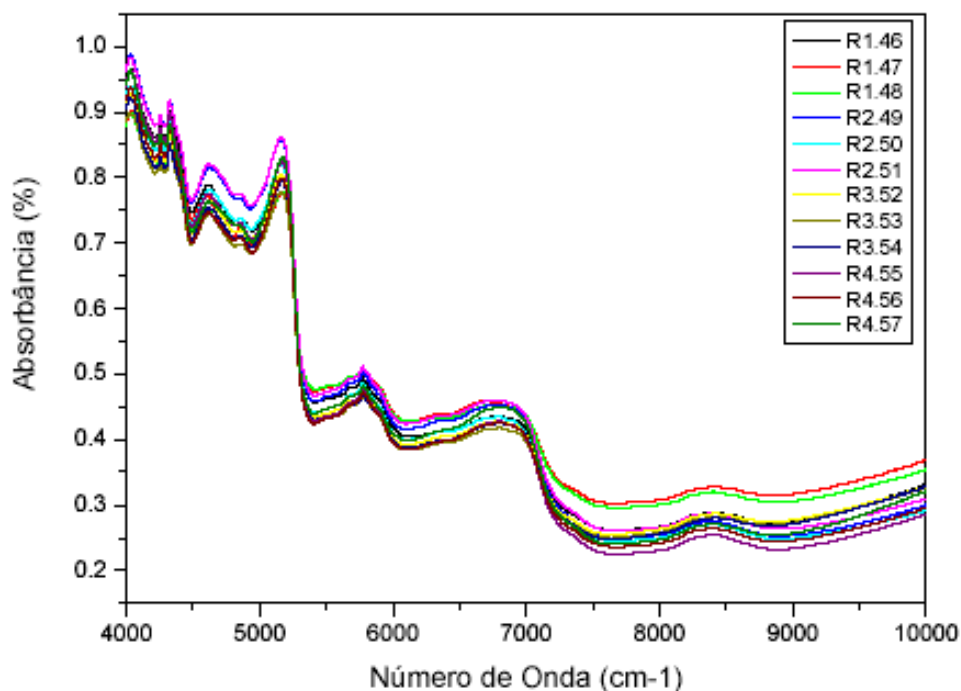
diferentes nutrientes, em concentrações diferenciadas, para verificar a atuação de cada nutriente sobre o seu desenvolvimento, pois, são raros os relatos na literatura sobre este aspecto dos formigueiros. Segundo Moutinho *et al.* (2003); Abril & Bucher (2004) informações sobre a composição química dos resíduos sem a presença do solo ou a comparação entre o balanço nutricional das folhas, dos fungos e dos resíduos produzidos são escassos e incompletos.

5.1.4 Infravermelho próximo (NIR)

No setor Florestal Brasileiro, especificamente na Proteção Florestal os estudos com a utilização do infravermelho próximo (NIR) são raros, sendo que neste caso pretende-se verificar se a utilização desta técnica é viável para a identificação de colônias de formigas cortadeiras (castas) e seus componentes, como o resíduo gerado pelos formigueiros e os vegetais utilizados na sua dieta.

A partir da leitura realizada com o aparelho de espectroscopia obtemos os espectros NIR onde foram gerados 1556 valores de absorbância para cada espectro, que permitiram ser utilizados para as análises estatísticas e a confecção dos gráficos.

A figura 15 mostra os espectros obtidos dos resíduos dos formigueiros. Os espectros demonstram que todos estes resíduos são semelhantes, pois não há diferenças espectrais entre eles. A análise destes resíduos também foi realizada em laboratório, e obtiveram-se valores não diferenciados estatisticamente a 1% de probabilidade, confirmando os resultados encontrados no NIR.



FONTE: O autor (2011).

FIGURA 15 - ESPECTROS DE NIR DOS RESÍDUOS GERADOS POR FORMIGUEIROS DE *Atta sexdens rubropilosa*.

Acredita-se que esta semelhança entre os resíduos de diferentes colônias de *A. sexdens rubropilosa* ocorra, porque trata-se de análises feitas com a mesma espécie de formigas cortadeiras e alimentadas com o mesmo material vegetal (*Eucalyptus grandis*). Se os formigueiros fossem alimentados com diferentes vegetais ou se estes fossem oriundos de locais diferentes, provavelmente, os resíduos apresentariam distinção entre eles, devido a constituição química de cada um. Na tabela 5 são apresentadas as bandas e atribuições representativas para os resíduos gerados pelos formigueiros.

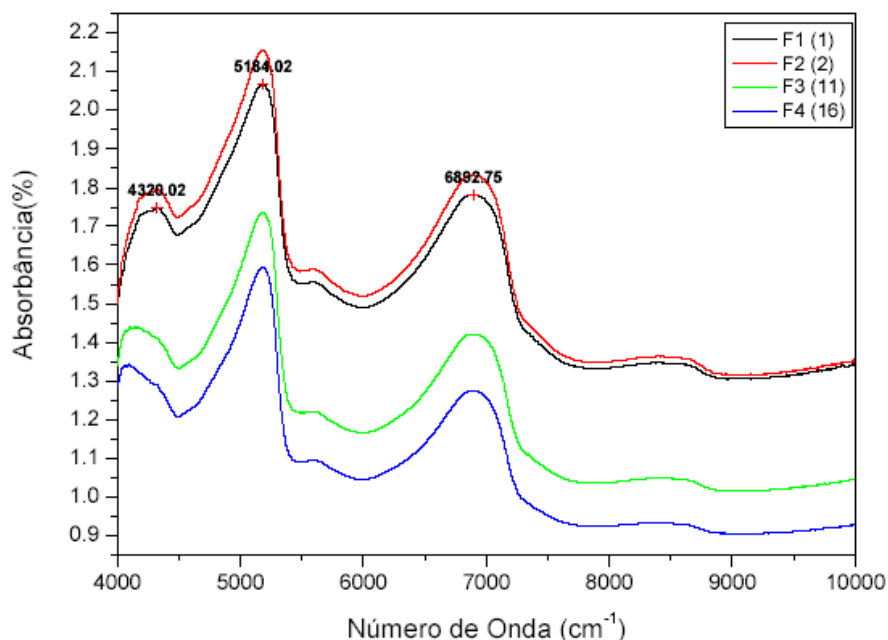
TABELA 5 – BANDAS E ATRIBUIÇÕES NA REGIÃO NIR PARA RESÍDUOS DOS FORMIGUEIROS (CURITIBA, 2011)

Bandas NIR (cm ⁻¹)	Atribuições
4620	CHO, CC, CH ₃
5172	OH, RNH ₂ ,
5774	CH ₂ , CH ₃
6846	CH, CH ₂ , CH ₃

FONTE: O autor (2011).

A Figura 16 mostra os espectros de NIR para todos os fungos avaliados. De acordo com estes espectros podemos verificar que todos estes fungos são

semelhantes, pois não há diferenças espectrais entre eles. Entretanto, podemos verificar que há diferenças físicas entre os fungos, a qual pode ser verificada pelo valor da absorbância. Os fungos F1 e F2 apresentam características semelhantes, as quais podem estar relacionadas com a umidade, cor, o estado de sanidade do fungo, granulometria, entre outras, sendo distintas com relação aos fungos F3 e F4. Provavelmente, estas diferenças aparecem devido aos fungos serem de formigueiros distintos. Entretanto, estes espectros não mostram diferenças químicas. O deslocamento da linha de base pode ocorrer devido à variação instrumental, ou calibração do equipamento.



FONTE: O autor (2011).

FIGURA 16 - ESPECTROS DE NIR PARA OS FUNGOS DE *Atta sexdens rubropilosa*.

A Tabela 6 mostra as principais bandas e atribuições relacionadas aos fungos. Podemos verificar que as bandas mais intensas estão na região de 4500 cm^{-1} e 8000 cm^{-1} , as quais são relativas às ligações do tipo O-H, C-H, C-C.

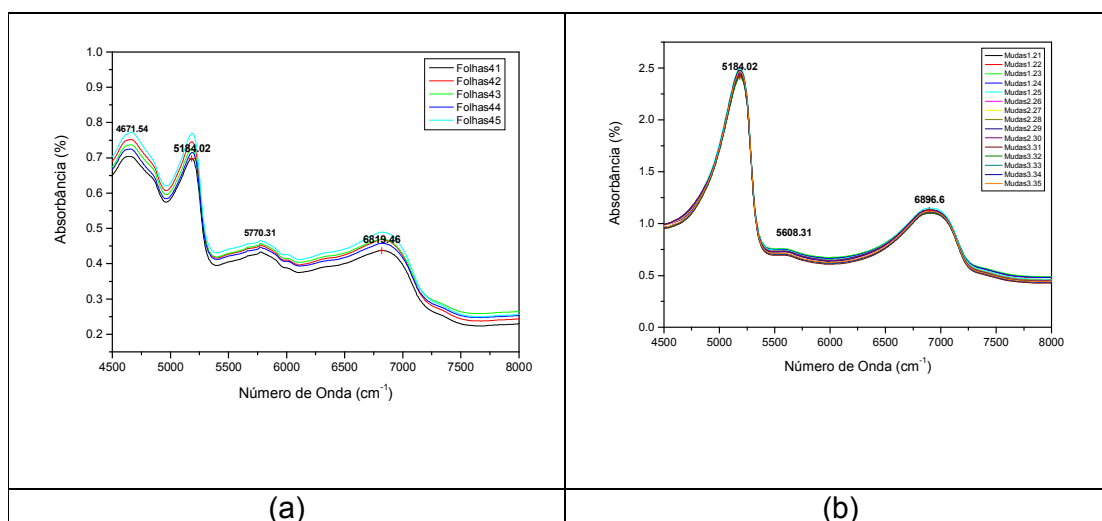
TABELA 6 – BANDAS E ATRIBUIÇÕES NIR PARA OS FUNGOS DE *Atta sexdens rubropilosa* (CURITIBA, 2011)

Bandas NIR (cm^{-1})	Atribuições
5164	Banda de combinação da H_2O
5442	CH_2 (1ª região de harmônico)
6885	NH, RNH_2 (1ª região de harmônico)

FONTE: O autor (2011).

Em relação aos espectros dos fungos confirmou-se a semelhança entre eles, pois, são fungos provenientes de formigueiros da mesma espécie, no caso, de *Atta sexdens rubropilosa*. Desta forma o NIR confirmou que estes fungos pertencem à mesma espécie, devido à semelhança entre ambos, fornecendo um resultado que deve se repetir se forem comparados os espectros obtidos neste trabalho com espectros de fungos de outras formigas cortadeiras, visto que autores como Angeli-Papa & Eymé, 1985; Brancher, 1993; Mueller, 2002, afirmam que todas as espécies de formigas cortadeiras cultivam a mesma espécie de fungo.

A Figura 17 mostra os espectros das folhas e de mudas de *Eucalyptus grandis*, sendo possível observar que as folhas secas (Figura 17 a) diferem das mudas (Figura 17 b). Entretanto, entre as mudas não há nenhuma diferença entre elas, bem como entre as folhas não há diferenças visíveis.



FONTE: O autor (2011).

FIGURA 17 - ESPECTROS DE NIR: (A) FOLHAS SECAS DE *Eucalyptus grandis*; (B) MUDAS DE *Eucalyptus grandis*

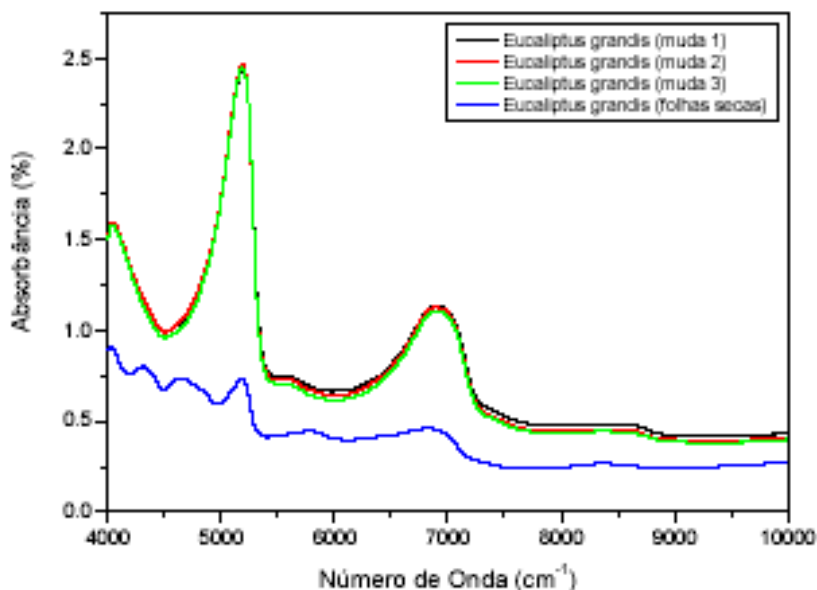
As principais bandas destas espécies estão na região de 5000 cm^{-1} e 7000 cm^{-1} . A Tabela 7 mostra as bandas e as atribuições relativas destas amostras.

TABELA 7 - BANDAS E ATRIBUIÇÕES NIR PARA FOLHAS E MUDAS *Eucalyptus grandis* (CURITIBA, 2011).

Bandas NIR (cm^{-1})		Atribuições
Mudas	Folhas secas	
-	4671	CHO, CC, CH (bandas de combinação)
5184	5184	OH (combinação), RNH_2
5608	-	CH_2 , CH_3
-	5770	CH, CH_2 , CH_3 (harmônicos)
6896	6819	CH, CH_2 , CH_3 (1° combinação de harmônicos)

FONTE: O autor (2011)

A Figura 18 mostra os espectros das folhas e mudas de *Eucalyptus grandis* juntas, sendo possível observar que as folhas secas diferem das mudas, provavelmente devido à diferença de umidade entre elas, pois, as mudas foram analisadas em seu estado natural. Entretanto, nas mudas não foi constatada nenhuma diferença, nem física nem química.



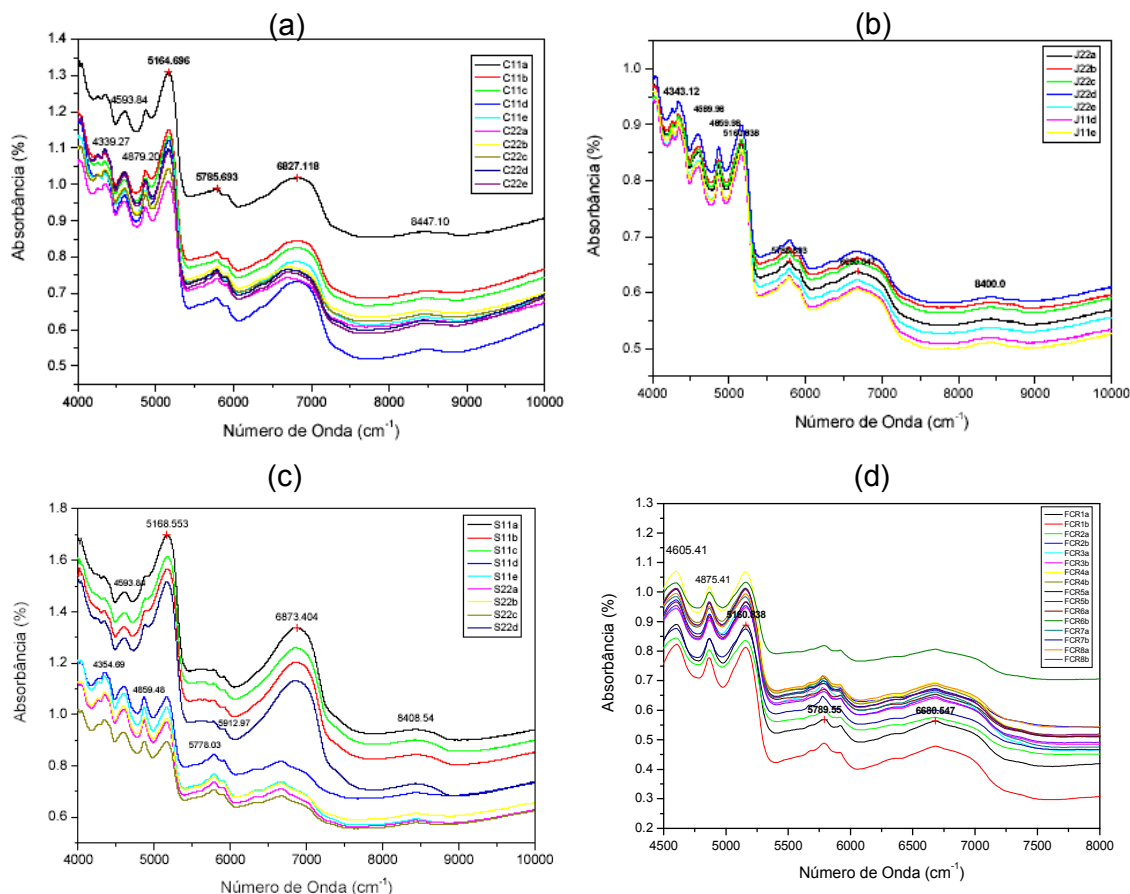
FONTE: O autor (2011).

FIGURA 18 - ESPECTROS DE NIR: MUDAS E FOLHAS SECAS DE *Eucalyptus grandis*.

A Figura 19 mostra os espectros de NIR para as formigas cortadeiras (a), jardineiras (b), soldados (c) e rainhas (d). Nota-se que não há diferenças entre os espectros dentro de cada uma destas castas, mostrando que todas estas formigas apresentam o mesmo padrão espectral, porém entre as castas foi possível fazer uma separação através dos espectros.

A Figura 19 mostra os espectros de NIR para as todas as castas de formigas. A Figura 19 (a) mostra os espectros das formigas cortadeiras, sendo possível verificar que não há diferenças visuais entre estes espectros, a não ser quanto à intensidade de absorção para uma das formigas do grupo. Na Figura 19 (b) verifica-se que não há diferenças entre os espectros, mostrando que todas estas formigas jardineiras apresentam o mesmo padrão espectral.

É possível verificar na Figura 19 (c) que na casta das formigas soldados, há diferenças entre os espectros, provavelmente devido às diferenças físicas relacionadas à espessura da pastilha, ruídos instrumentais, entre outros. O grupo S1 difere do grupo S2. Estas diferenças podem ser visualizadas quanto à intensidade de absorção, pois, no grupo S1 as absorções estão mais próximas, enquanto o grupo S2 mostra menores valores de absorção. A Figura 19 (d) mostra os espectros das formigas da classe das rainhas.



FONTE: O autor (2011).

FIGURA 19 - ESPECTROS DE NIR PARA AS FORMIGAS: CORTADEIRAS (A), JARDINEIRAS (B), SOLDADOS (C) E RAINHAS (D).

Acredita-se que as diferenças encontradas nos espectros entre as castas de formigas cortadeiras de *Atta sexdens rubropilosa* no NIR são devido à constituição química de cada indivíduo, mesmo estas pertencendo a uma mesma colônia, pois, segundo Pavon e Mathias (2005) as funções executadas pelas distintas castas destes insetos são diretamente dependentes dos seus produtos glandulares e, conseqüentemente, sobre as características de secreção celular. Isto é, se estes produtos glandulares determinam quais funções cada indivíduo deve realizar dentro da colônia (PAVON & MATHIAS, 2005), acredita-se que são estas glândulas que produzem tais constituintes químicos que separam os espectros das castas das formigas cortadeiras no NIR.

As bandas e suas atribuições para as castas das formigas são listadas na tabela 8.

TABELA 8 – BANDAS E ATRIBUIÇÕES DE NIR PARA AS FORMIGAS CORTADEIRAS *Atta sexdens rubropilosa* (CURITIBA, 2011)

Bandas NIR (cm ⁻¹)				Atribuições
FCJ	FCC	FCS	FR	
4605	4589	4589	4605	CH,CH ₂ (banda de combinação)
4859	4863	4856	4875	ROH, CONHR (b. combinação)
5160	5164	5168	5160	OH (combinação),RNH ₂ , CONH ₂
5785	5785	5794	5789	OH,CONH ₂ , RNH ₂
6680	6827	6873	6680	NH (1° harmônico), RHN ₂

FONTE: O autor (2011)

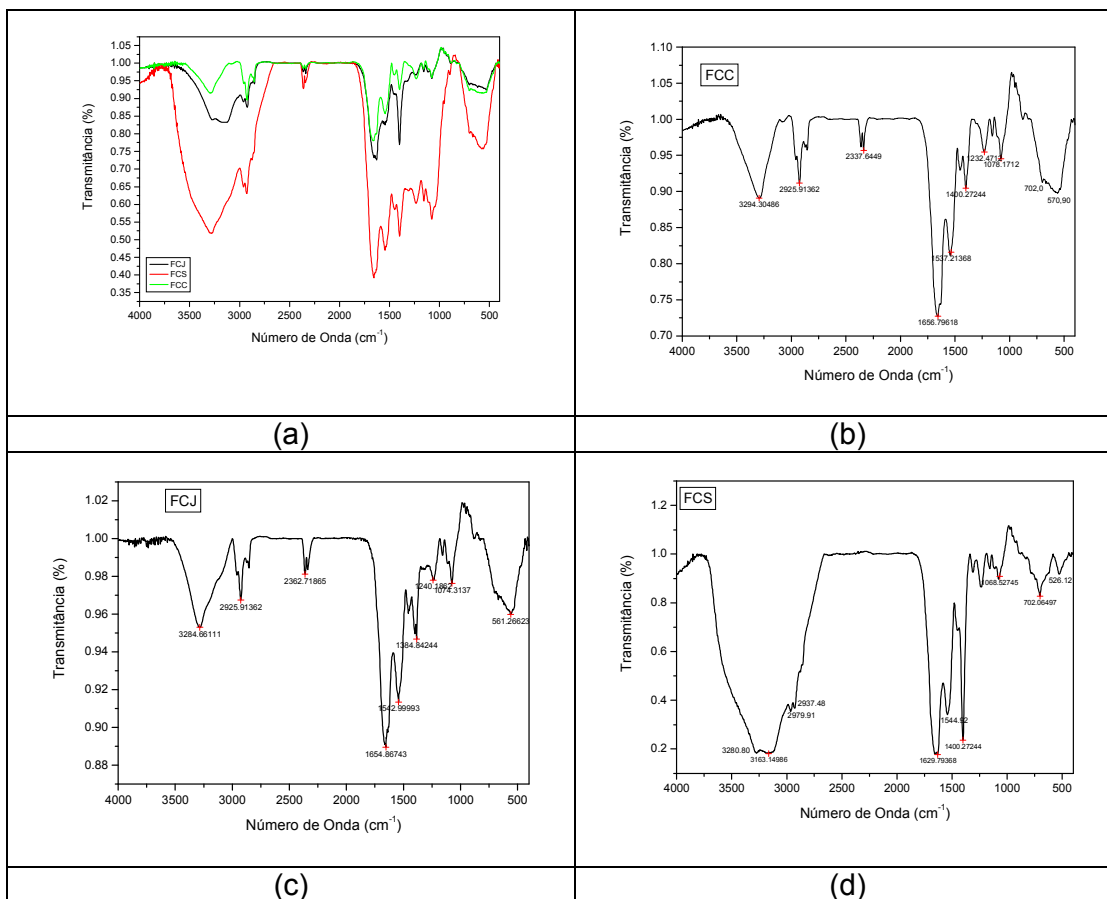
FCJ: formigas das castas das jardineiras; FCC: formigas das castas das cortadeiras; FCS: formigas das castas dos soldados; FR: formigas rainhas

A NIR não só detecta os produtos glandulares, os hidrocarbonetos cuticulares, mas também o sinal de outro tipo de moléculas presentes em menor quantidade e que possuem os grupos O-H, C-H, N-H e C=O em alguma parte de sua estrutura (KRADJEL, 1991, PAVON & MATHIAS 2005). Desta forma a NIR além de identificar e separar as castas de formigas através dos hidrocarbonetos presentes em sua estrutura, também pode classificá-las em grupos de acordo com a região onde foram coletadas, pois, colônias de formigas cortadeiras, da mesma espécie, coletadas em locais distintos, apresentaram características e quantidades diferentes de hidrocarbonetos cuticulares.

Considerando os resultados apresentados, pode-se afirmar que a espectroscopia de infravermelho próximo se mostrou como uma ferramenta apta a

classificar os elementos constituintes da colônia, distinguindo as castas de formigas, o alimento (muda e folhas secas de *E. grandis*), o fungo simbionte e os resíduos

As análises realizadas no MIR/FTIR confirmam o resultado encontrado no NIR, pois, analisando quimicamente a figura 20, podemos observar que os grupos funcionais que mais contribuíram para classificação entre os grupos de formigas foram a região da amida e hidrocarbonetos, presentes no exoesqueleto dos insetos.



FONTE: O autor (2011).

FIGURA 20 - (A) ESPECTROS DE FTIR DE TODAS AS CASTAS DE FORMIGAS; (B) CORTADEIRAS; (C) JARDINEIRAS; (D) SOLDADOS.

FCJ: formigas das castas das jardineiras; FCC: formigas das castas das cortadeiras; FCS: formigas das castas dos soldados; FR: formigas rainhas

5.1.4.1 Análise de Componentes Principais com os Espectros de NIR

A análise de componentes principais (PCA) com duas componentes principais foi aplicada aos espectros médios (média aritmética dos 10 espectros) dos elementos constituintes do formigueiro, sem pré-tratamento em toda faixa espectral (10000-4000 cm^{-1}). Entretanto, conforme análise preliminar foi verificada que entre a faixa 10000 a 9000 cm^{-1} não continha informação para a interpretação do espectro, além disso, apresentou instabilidade espectral, portanto, foi utilizada a região 8000 a 4000 cm^{-1} . De acordo com esta análise, realizou-se uma nova PCA, também com duas componentes principais e com os dados médios, na região de 8000 a 4000 cm^{-1} , conforme a tabela 9, na qual foi possível visualizar que a variância da PC1 é bem maior do que no primeiro caso (todo espectro), sendo um modelo de classificação mais representativo.

TABELA 9 – ANÁLISE DA VARIÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS OBTIDOS NO PROCESSAMENTO DA MATRIZ DE DADOS BRUTA EM TODA FAIXA ESPECTRAL E COM SELEÇÃO DE FAIXA. (CURITIBA, 2011)

Tratamento		% Variância PC		% Variância Acumulada
		PC 1	PC 2	
Todo espectro	10000-4000 cm^{-1}	88	12	100
Faixa selecionada	8000-4000 cm^{-1}	96	4	100

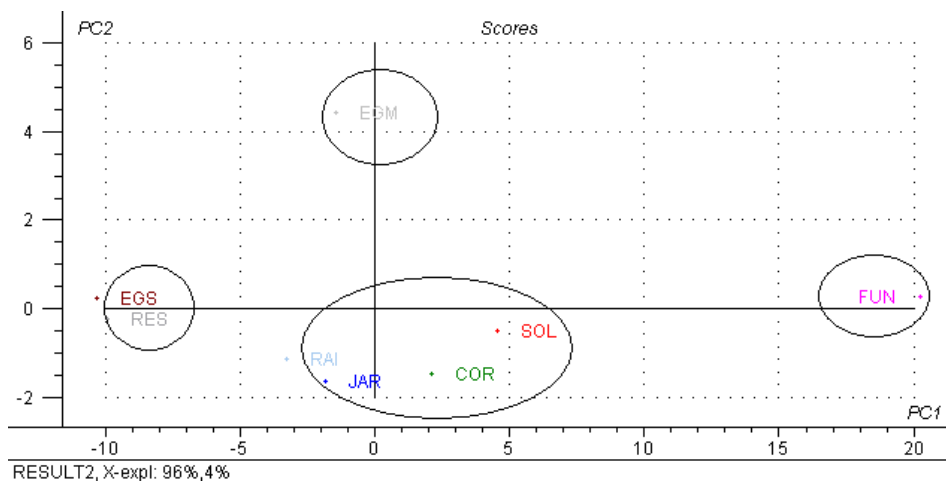
FONTE: O autor (2011)

A figura 21 mostra o gráfico de "scores" da PC1 versus PC2. A PC1 explicou 96% dos dados e a PC2 explicou 4%. É possível verificar que houve uma distinção muito clara dos elementos, sendo possível observar a formação de quatro grupos distintos.

Os fungos estão em um grupo bem distinto dos demais elementos (grupo 1), assim como as mudas de folhas de *E. grandis* (grupo 2). As castas de formigas estão agrupadas muito próximas uma das outras, mostrando com isso uma similaridade entre estes indivíduos (grupo 3), porém, estas não estão sobrepostas, isto é, mesmo estando agrupadas cada casta possui características distintas que podem ser visualizadas através do gráfico.

Os resíduos e as folhas secas de *E. grandis* estão no mesmo grupo (grupo 4), o que provavelmente indica que não há uma degradação completa dos compostos

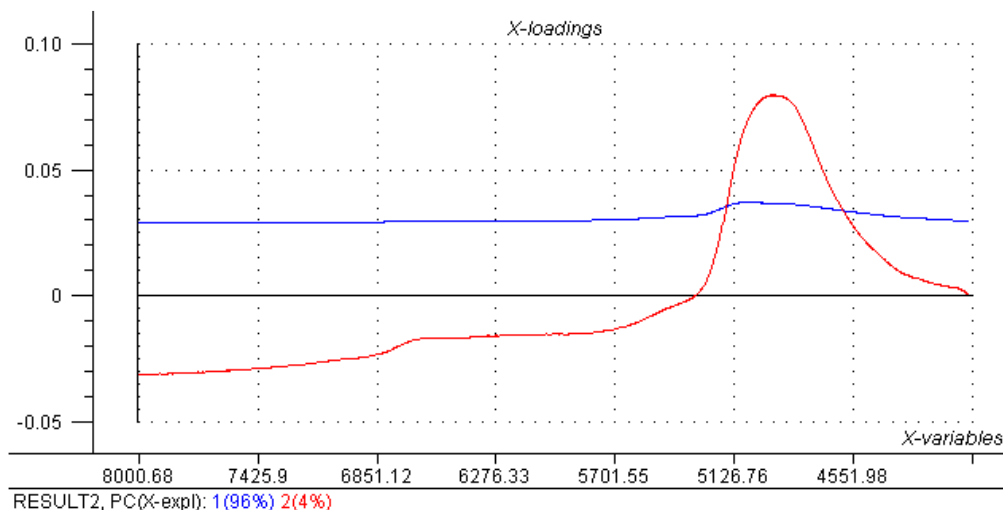
presentes nas folhas que estas formigas cortam, explicando assim esta associação. Conforme já mencionado, se a relação celulose/lignina é alta, os fungos não conseguem decompor facilmente o material ((LEE e WOOD, 1971), portanto é perfeitamente aceitável que as mudas de *E. grandis* estejam no mesmo grupo dos resíduos.



FONTE: O autor (2011).

FIGURA 21 - GRÁFICO DE SCORES DA PC1 VERSOS PC2. (EGM: MUDAS DE *E. grandis*; FUN: FUNGOS; EGS: *E. grandis* SECO; RES: RESÍDUO; RAI: RAINHA; JAR: JARDINEIRA; COR: CORTADEIRA E SOL: SOLDADO).

A Figura 22 mostra o gráfico de *loadings*, sendo possível verificar que a região de maior contribuição para distinção entre os grupos está na região entre $5500 - 4000 \text{ cm}^{-1}$.



FONTE: O autor (2011).

FIGURA 22 - GRÁFICO DE LOADINGS PC1 VERSOS PC2.

A região determinante está compreendida entre 5500-4000 cm^{-1} a qual, pode ser assim dividida: 4000 a 4700 cm^{-1} compreende a região de banda de combinação dos grupos NH, NH+ OH, CH + CH, CH+CC, sendo representativas para os grupos funcionais presentes nos elementos constituintes da colônia, conforme já explanados anteriormente e, ligações dos hidrocarbonetos, tais como CH, CH₂ e CH₃, além dos grupos CHO e CC.

Na região entre 4800 a 5500 cm^{-1} são atribuídas aos grupos funcionais CONH₂ e RHN₂ (amina) compreendida na região da banda de combinação. Além disso, há ainda a contribuição de novos grupos funcionais, tais como RCO₂H (ácidos carboxílicos), RCO₂R' (éster), além da contribuição da água (H₂O) livre e da ligação C=O (segundo harmônico), visto que estes grupos funcionais estão presentes em todos os elementos do sistema devido às características dos compostos envolvidos. Conforme já mencionado, as formigas apresentam em sua estrutura um exoesqueleto compostos por hidrocarbonetos, quitina, além de cetonas, ácidos, ésteres, entre outros. Segundo Antonialli Jr. (2007) os grupos funcionais que mais contribuíram para classificação entre os grupos de formigas *E. vizotti* foram os a região de amida e hidrocarbonetos.

No diagrama, a análise por componentes principais permitiu a identificação das bandas de absorção que mais influenciaram na determinação dos grupos avaliados. Em função destes resultados, podemos concluir que o NIR consegue perceber pequenas diferenças nas castas de formigas cortadeiras dentro de uma mesma colônia, assim como agrupar os fungos, resíduos e alimentos desta colônia.

Estes resultados demonstram que o infravermelho pode ser utilizado para identificação de formigas cortadeiras, pois, uma vez calibrado o equipamento, toda vez que ele for utilizado para esta mesma amostra/espécie, este produzirá curvas de absorbância iguais ou muito semelhantes conferindo a mesma identificação à amostra.

Foi obtido êxito neste estudo, pois, a intenção foi verificar se o NIR era capaz de separar as castas de formigas cortadeiras e os resíduos produzidos por estes insetos, e este resultado foi confirmado com a obtenção dos seus espectros. Futuramente espera-se testar equipamentos que possam ser utilizados no campo e que estejam pré-calibrados com informações sobre estes insetos, para facilitar sua identificação no campo, pois, estudos recentes têm demonstrado a utilidade do infravermelho próximo espectroscopia de reflectância e absorbância para a

identificação de diversas espécies de insetos (DOWELL *et al.* 1999; COLE *et al.*, 2003).

Um dos pontos chaves para a utilização do NIR para a identificação das formigas cortadeiras é a dificuldade que muitos pesquisadores encontram para identificar tais espécies, principalmente quando falamos em formigas cortadeiras do gênero *Acromyrmex*. Deve-se ressaltar a facilidade da obtenção dos dados, leitura e composição dos espectros, que em apenas alguns segundos diferencia uma espécie/casta da outra.

Já é possível comprar equipamentos portáteis no mercado como cita Aldrich *et al.* (2007) que relata que o equipamento portátil para medir o infravermelho próximo, projetado para uso em campo, está atualmente disponível. Este ainda cita que os pesquisadores e empresas de controle de cupins podem encontrar sistemas úteis de reflexão do infravermelho próximo, para uma rápida identificação das espécies de cupins no seu local de ocorrência.

Acredita-se que se estes equipamentos podem ser usados para identificação de cupins, estes também poderiam ser utilizados na identificação de formigas cortadeiras. Além disso, devemos considerar o uso deste equipamento para outros insetos e/ou pragas das culturas florestais. Um equipamento calibrado para identificar diversos insetos, faria esta identificação em apenas alguns segundos no campo, o que revolucionaria o controle e o monitoramento de pragas florestais, pois uma das principais dificuldades destas atividades é a identificação dos insetos. Sobre este assunto Aldrich *et al.*, (2007) cita que a classificação dos indivíduos desconhecidos no conjunto de validação demorou menos de cinco segundos e foi capaz de identificar corretamente incógnitas com 100% de precisão. Isto é, o método além de ágil é confiável para a identificação dos insetos.

Considerando os resultados obtidos neste trabalho, devemos investir neste método de análise que utiliza o infravermelho próximo nas pesquisas relacionadas com os insetos em geral, pois, esta tecnologia está disponível e devemos nos habituar a ela e fazer gozo dos resultados que a utilização do método pode nos proporcionar.

5.2 DADOS DE CAMPO

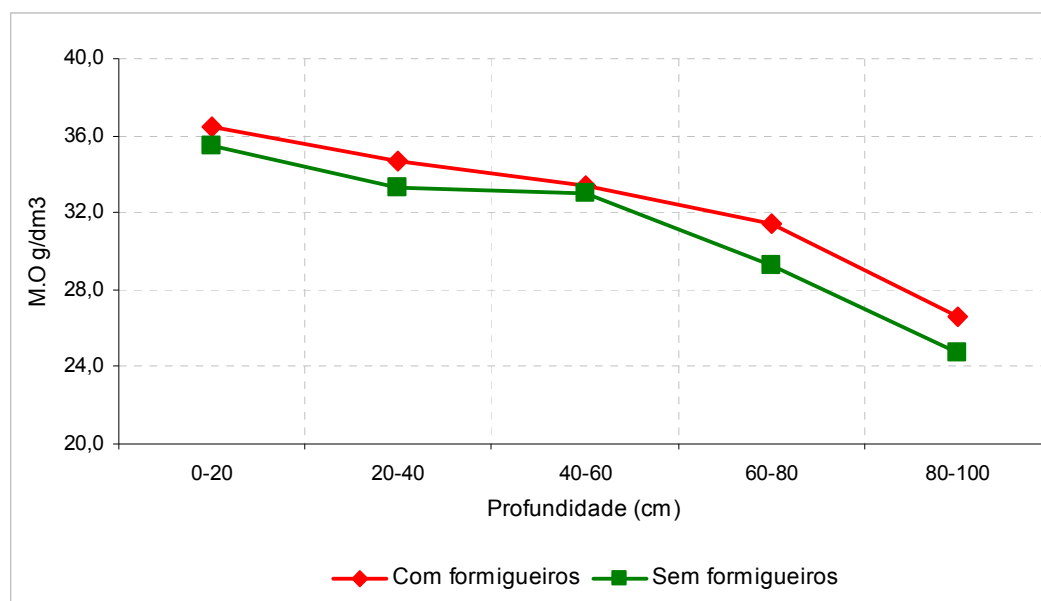
5.2.1 Teores de matéria orgânica

Através da análise química dos solos, verificou-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos e as amostras de solos com a presença e a ausência de *Atta sexdens rubropilosa* em plantio de *Eucalyptus grandis* a um nível de 5% de probabilidade. Isto indica que as diferentes áreas e solos amostrados com a presença de formigueiros e na ausência destes, apresentam as mesmas características químicas, estando representadas nas tabelas 10 e 11 (pág. 80) pelas mesmas letras. Um dos motivos que pode explicar porque não houve diferença estatística entre os tratamentos e as amostras de solos com a presença e a ausência de *Atta sexdens rubropilosa* é pelo fato do solo ser quimicamente pobre, pois, os teores de nutrientes são muito baixos, quando comparados com os padrões utilizados para os plantios desta espécie.

Esta análise nos permite concluir que os solos onde foram realizadas as coletas das amostras, tanto com a presença de formigueiros como sem a presença, tiveram as mesmas características do ponto de vista químico e físico. Os solos coletados foram classificados como Latossolo e apresentavam as mesmas características morfológicas, incluindo a mesma cobertura vegetal, sem a ocorrência de pedregosidade e rochosidade, mesmo relevo (suave ondulado), sem a ocorrência de erosão, boa drenagem e baixa ocorrência de raízes.

A princípio acreditava-se que nas áreas com a presença dos formigueiros iriam ser encontrados elevados teores de matéria orgânica (M.O.) e nutrientes, quando comparadas com áreas sem a ocorrência de formigueiros, pois, segundo Lima *et al.* (2006) a matéria orgânica presente no solo é constituída por organismos vivos e, principalmente, pelos produtos da decomposição destes organismos. Restos de culturas, raízes e animais mortos são as principais fontes de matéria orgânica dos solos agrícolas, sendo que o teor de matéria orgânica decorre do equilíbrio entre ganhos e perdas destes constituintes. Assim, como as formigas habitavam este local, esperava-se encontrar maiores teores de matéria orgânica. Porém, observando o gráfico 6, é possível detectar que houve um aumento percentual de 3%, 4%, 1%, 7% e 8% no teor de matéria orgânica nas áreas com a ocorrência dos

formigueiros, nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm, respectivamente, em relação à área sem formigueiros (dados retirados das tabelas 10 e 11). Este é um aspecto positivo que comprova a importância ecológica dos formigueiros para a recomposição de áreas, pois, Lima *et al.* (2006) cita que entre as propriedades da matéria orgânica, podem ser destacadas a geração de cargas negativas; a agregação de partículas minerais, que favorece a porosidade e a friabilidade; a capacidade de retenção de água e nutrientes e também a liberação de nutrientes minerais e outros compostos orgânicos durante sua decomposição. Por todas estas propriedades, a caracterização da matéria orgânica dos solos é de extrema importância para o manejo adequado da fertilidade dos solos, assim, mesmo que em pequenos percentuais as formigas cortadeiras contribuem para a melhoria dos solos degradados, que são os locais preferidos para a instalação dos formigueiros.



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 6 - Quantidade de matéria orgânica nas diferentes profundidades nas áreas com e sem ocorrência de formigueiros.

Portanto, acredita-se que a presença dos formigueiros aumenta os teores de matéria orgânica do solo, quando comparadas com áreas sem a ocorrência destes insetos, devido ao descarte de seus resíduos e, conseqüentemente, este aumento dos teores passam a contribuir para o melhor desenvolvimento futuro das plantas que irão se desenvolver nestes locais.

Observando os dados das tabelas 10 e 11 (pág. 80) observa-se que as médias de nutrientes encontradas nas amostras não apresentaram diferença estatística. Porém, observa-se que, em geral, as médias encontradas nas áreas com a ocorrência de formigueiros são superiores quando comparadas às áreas sem a ocorrência destes insetos, isto significa que, comparando-se as médias, há maior concentração de nutrientes nas áreas com ocorrência dos formigueiros em relação à área sem a ocorrência destes.

Maiores médias de nutrientes e matéria orgânica foram encontradas nas amostras com a ocorrência de formigueiros, devido ao resíduo depositado por estes insetos no solo. Estes resultados também foram relatados por outros autores (GUERRA *et al.*, 2007; SOUTO, 2007; MOUTINHO *et al.*, 2003).

TABELA 10 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MACRONUTRIENTES E DEMAIS CARACTERÍSTICAS ENCONTRADAS EM SOLOS COM A PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE *Atta sexdens rubropilosa* EM PLANTIO DE *Eucalyptus grandis* (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS FORMIGUEIROS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
0-20	36.44400 a	4.12000 a	6.60000 a	0.78000 a	3.40000 a	3.20000 a	15.24000 a	71.37484 a	7.38000 a	78.75484 a	8.84700 a
20-40	34.63600 a	4.10000 a	7.40000 a	0.68000 a	2.00000 a	2.40000 a	17.62000 a	77.54696 a	5.08000 a	82.62696 a	6.76170 a
40-60	33.37800 a	4.12000 a	4.60000 a	0.66000 a	2.20000 a	1.80000 a	15.64000 a	75.77970 a	4.66000 a	80.43970 a	6.39356 a
60-80	31.39800 a	4.14000 a	5.80000 a	0.70000 a	1.20000 a	1.60000 a	15.60000 a	81.69528 a	3.50000 a	85.19528 a	4.14320 a
80-100	26.63800 a	4.12000 a	6.80000 a	0.62000 a	1.20000 a	1.40000 a	13.18000 a	72.88230 a	3.22000 a	76.10230 a	4.26642 a
F	0.2433 ns	0.0439 ns	0.8156 ns	0.1037 ns	0.9361 ns	1.3571 ns	0.3685 ns	0.0947 ns	1.0854 ns	0.0641 ns	1.4973 ns

FONTE: O autor (2011)

TABELA 11 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS MACRONUTRIENTES E DEMAIS CARACTERÍSTICAS ENCONTRADAS EM SOLOS NA AUSÊNCIA DE FORMIGUEIROS DE *Atta sexdens rubropilosa* EM PLANTIO DE *Eucalyptus grandis* (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS SEM FORMIGUEIROS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
0-20	35.45400 a	4.07500 a	5.50000 a	1.02500 a	2.75000 a	3.00000 a	18.57500 a	86.66525 a	6.77500 a	93.44025 a	7.19443 a
20-40	33.27000 a	4.00000 a	5.75000 a	0.62500 a	1.25000 ab	1.50000 a	20.05000 a	95.32108 a	3.37500 a	98.69608 a	3.34520 b
40-60	33.03400 a	4.05000 a	5.25000 a	0.62500 a	1.00000 b	1.25000 a	18.77500 a	93.53098 a	2.87500 a	96.40598 a	3.10908 b
60-80	29.25200 a	4.07500 a	6.00000 a	0.42500 a	1.00000 b	1.50000 a	17.30000 a	82.77660 a	2.92500 a	85.70160 a	3.47795 ab
80-100	24.72800 a	4.12500 a	6.00000 a	0.32500 a	1.00000 b	2.25000 a	13.35000 a	69.94753 a	3.57500 a	73.52252 a	4.73295 ab
F	1.7396 ns	0.9340 ns	0.1747 ns	1.3022 ns	3.6711 ns	1.3245 ns	1.5803 ns	0.9925 ns	3.3125 ns	0.9337 ns	3.8831 ns

FONTE: O autor (2011)

ns não significativo (p >= .05)

As análises de variância não apresentaram diferenças significativas.

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

5.2.2 Comparação da quantidade de nutrientes nas áreas com formigueiros e sem formigueiros

Quando comparamos a média dos nutrientes nas amostras de solos nas áreas com formigueiros e sem formigueiros (tabela 12) nas diferentes profundidades, verificou-se que a quantidade de nutrientes foi superior nas áreas com formigueiros.

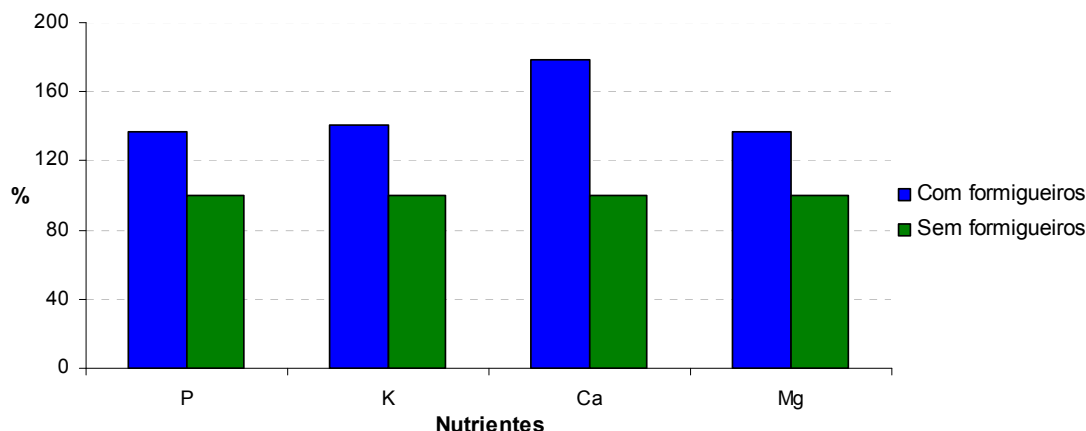
No tópico anterior, nas análises realizadas em laboratório, constatou-se a presença de nutrientes nos resíduos gerados nos formigueiros monitorados em laboratório, porém, isto não é observado em campo. Este fato pode ser explicado, pois, os formigueiros acumulam nutrientes nas panelas de lixo através da deposição dos seus resíduos, e no laboratório, todos estes nutrientes são coletados e analisados, porém, em condições naturais de campo, o ambiente pode degradar os nutrientes, ou ainda, estes serem lixiviados para camadas mais profundas do solo, do que as analisadas neste trabalho.

Considerando que as amostras de solo nas áreas sem formigueiros foram determinadas como testemunhas, ou seja, 100% do total de nutrientes encontrados na amostra, nota-se que houve um aumento percentual, em relação à área sem formigueiros, de 9,5% no teor de P, 13% de K, 43% de Ca e 11% de Mg nas áreas com formigueiros, em solos com plantios de *Eucalyptus grandis* (Gráfico 7).

TABELA 12 - QUANTIDADE DE NUTRIENTES EM ÁREAS COM E SEM FORMIGUEIROS DE *Atta sexdens rubropilosa* (CURITIBA, 2011).

Identificação/Nutrientes	P	K	Ca	Mg
	mg/dm ³	mmolc/dm ³		
Com formigueiros	6,24	0,69	2,0	2,1
Sem formigueiros	5,70	0,61	1,4	1,9

FONTE: O autor (2011).



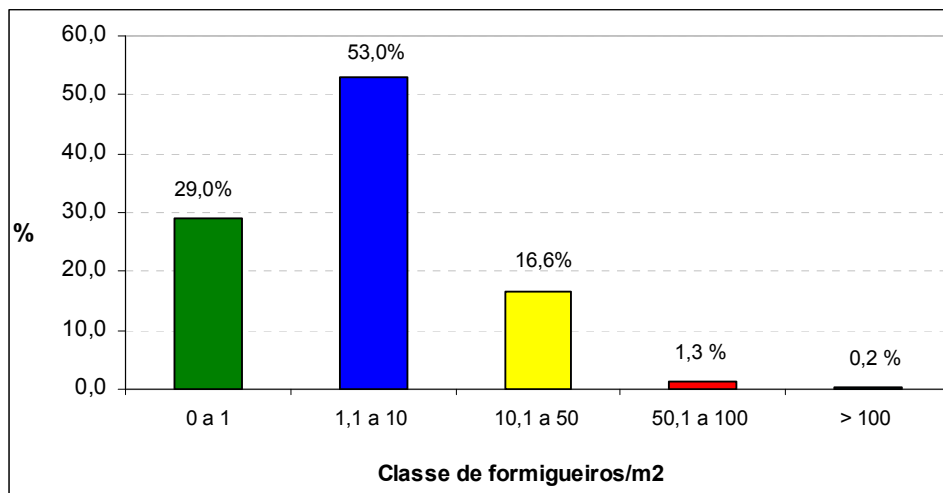
FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 7 - QUANTIDADE DE NUTRIENTES EM ÁREAS COM E SEM FORMIGUEIROS DE *Atta sexdens rubropilosa*

Estes valores são consideráveis, principalmente, por se tratarem de insetos que devolvem nutrientes no solo, através do resíduo de vegetais utilizados por eles. A partir dos valores obtidos nas amostras, pode-se determinar que os solos em áreas de saueiros com plantios de *Eucalyptus grandis* possuem em média 1,09 vezes mais fósforo, 1,13 vezes mais potássio, 1,43 vezes mais cálcio e 1,10 mais magnésio que um solo sem a presença dos formigueiros. Diversos autores citam que solos de saueiros possuem 1,3 a 80 vezes mais macro-nutrientes (Ca, Mg, K, P, N e S) do que solos sem a influência das colônias (HAINES, 1978; FARJI-BRENER & SILVA, 1995; FARJI-BRENER & ILLES, 2000; MOUTINHO *et al.*, 2003; SOUTO *et al.*, 2007).

Considerando seu aspecto ecológico, as formigas cortadeiras possuem um papel importante no aumento da concentração de nutrientes em áreas naturais, pois, estas cortam material vegetal (folhas, frutos, brotos, etc) que são utilizados pelos formigueiros para o seu desenvolvimento e devolvem ao solo um resíduo contendo diversos nutrientes presentes neste material vegetal. Segundo Abdala *et al.*, (1997), em ambientes naturais podemos considerar que a importância de saueiros na ciclagem de nutrientes é muito relevante, se considerarmos o tamanho das colônias e o tempo de permanência desses ninhos no ambiente.

Nas áreas experimentais avaliadas neste trabalho foram encontrados formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa*, sendo que a maioria destes formigueiros possuía área média de 1,1 a 10 m², conforme o gráfico 8.



FONTE: FIBRIA (2010)

GRÁFICO 8 - QUANTIDADE DE FORMIGUEIROS (%) POR CLASSES DE TAMANHO (M²).

Considerando que dos 100% das colônias de *Atta sexdens rubropilosa* encontrados nos plantios de *E. grandis*, 53% dos formigueiros apresentam tamanho médio de 1,1 m² a 10 m² e 16% apresentam tamanho médio de 10,1 m² a 50 m² (figura 23), podemos concluir que estes insetos podem incorporar uma quantidade relevante de nutrientes no solo, devido ao seu forrageamento e por ocuparem áreas representativas em plantios florestais.



FONTE: O autor (2010)

FIGURA 23 - FORMIGUEIRO COM APROXIMADAMENTE 32 M² DE TERRA SOLTA. CAPÃO BONITO – SP - BR.

Com estas afirmações, não estamos querendo defender que se mantenham formigueiros ativos em plantios florestais para aumentar os teores de nutrientes, pois, já é bem conhecido os danos que estes insetos podem causar a um povoamento. Porém, ecologicamente todo organismo é importante e ocupa um lugar nas pirâmides ecológicas, assim é importante conhecer os níveis de danos ambientais e econômicos que estes insetos causam.

Este entendimento é compartilhado por Haines (1978) e Moutinho *et al.* (2003) que afirmam em seus trabalhos que as saúvas (*Atta spp.*) exercem um importante papel na estrutura dos ecossistemas, pois, estas podem afetar a diversidade de plantas e a ciclagem de nutrientes, tanto diretamente, por meio da herbivoria, como também indiretamente por meio de mudanças nas propriedades do solo. Ainda, segundo Souto (2007), ao melhorar a qualidade química dos solos, além de facilitar a disponibilidade dos nutrientes à vegetação, as saúvas podem ser um dos principais agentes de sustentabilidade do ecossistema, ou seja, as saúvas podem acelerar o processo de recuperação da vegetação, modificando sua estrutura vegetacional, desde que o balanço entre enriquecimento do solo e herbivoria seja positivo.

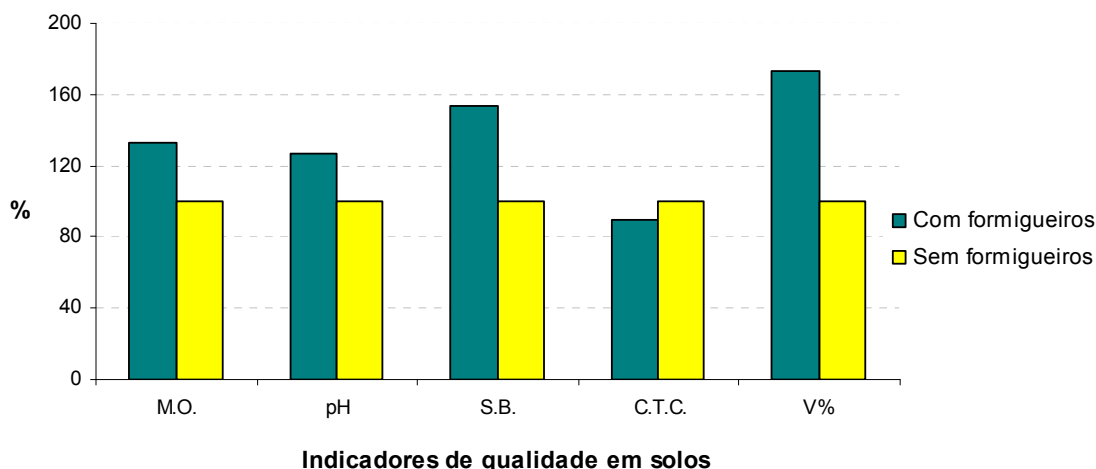
Na tabela 13 estão apresentados dados que demonstram que além dos nutrientes nos solos, as colônias de *Atta sexdens rubropilosa* contribuíram para o aumento do teor de MO em 4,2%, além de outros importantes indicadores da qualidade do solo, com o pH em 0,5%, em relação as áreas sem a presença dos formigueiros (Gráfico 9).

Com base nestas informações citadas anteriormente, acredita-se que os saúveiros possuem um papel relevante na melhoria da qualidade do solo, pois, se a acidez do solo torna-o desfavorável para a decomposição de matéria orgânica e a mineralização dos nutrientes, estes saúveiros ao aumentarem o pH do solo, invertem este processo ou, ao menos, facilitam esta decomposição.

TABELA 13 - INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COLÔNIAS DE FORMIGAS *Atta sexdens rubropilosa* (CURITIBA, 2011).

Identificação/Nutrientes	M.O.	pH	S.B.	C.T.C.	V%
	g/dm ³	CaCl ₂	mmolc/dm ³		%
Com formigueiros	32,5	4,1	4,8	80,62	6,1
Sem formigueiros	31,2	4,1	3,9	89,55	4,4

FONTE: O autor (2011).



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 9 - INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COLÔNIAS DE FORMIGAS *Atta sexdens rubropilosa*.

Nos solos com a presença dos formigueiros, a soma de bases (SB) apresentou um aumento de 23% em relação aos solos sem a ocorrência destes insetos, assim, do ponto de vista da fertilidade do solo é interessante que a soma de bases seja elevada, pois, quanto maior a soma de bases, maior é a soma dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, como o cálcio, magnésio e potássio. Segundo Lima (2007) a soma de bases corresponde à soma dos mols de carga dos cátions trocáveis predominantes em solos básicos, ou seja, Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} e Na^{+} .

Fazendo uma média da capacidade de troca catiônica (CTC) nas diferentes profundidades podemos observar na tabela 13 que este parâmetro teve uma redução de 10% nas áreas com a ocorrência dos formigueiros, em relação à área sem formigueiros.

A saturação de bases (V%) teve um aumento de 39%, sendo um resultado interessante para a fertilidade do solo, pois, segundo Lima (2007) quanto maior a saturação de bases maior a proporção de nutrientes (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}), e menor proporção de cátions ácidos (Al^{+3} e H^{+}) no solo.

Do ponto de vista de textura do solo, tanto as amostras de solos na presença e ausência dos formigueiros foram classificadas como muito argiloso (tabela 14), sendo identificados através do triângulo textural (SANTOS et al., 2005).

TABELA 14 - QUANTIDADE DE ARGILA/SILTE/AREIA UTILIZADA PARA A CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO SOLO (CURITIBA, 2011).

Identificação/Textura do solo	ARGILA	SILTE	AREIA
	g/kg		
Com formigueiros	603	213	184
Sem formigueiros	620	198	182

FONTE: O autor (2011).

Pode-se dizer, através dos dados obtidos neste trabalho, que os solos encontrados nos formigueiros possuem melhor estrutura física por apresentarem maior quantidade de matéria orgânica, pois a presença deste elemento aumenta a porosidade do solo e conseqüentemente a absorção de água. Além disso, geralmente, solos com maiores teores de matéria orgânica tendem a ser mais estruturados, apresentando maior grau de flocculação quando comparados com solos com menores teores de matéria orgânica.

Considerando o aumento percentual nos teores dos nutrientes como o fósforo, potássio, cálcio e magnésio e da matéria orgânica, além dos outros fatores como pH, soma de bases e saturação de bases, o resíduo gerado pela presença dos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* têm importante papel na melhoria da qualidade dos solos onde estes ocorrem.

5.2.3 Concentração de nutrientes e demais variáveis relacionadas à qualidade do solo em diferentes profundidades

Neste tópico veremos o quanto a presença dos formigueiros no solo pode aumentar a concentração destes nutrientes, em função do resíduo depositado por estes em diferentes profundidades.

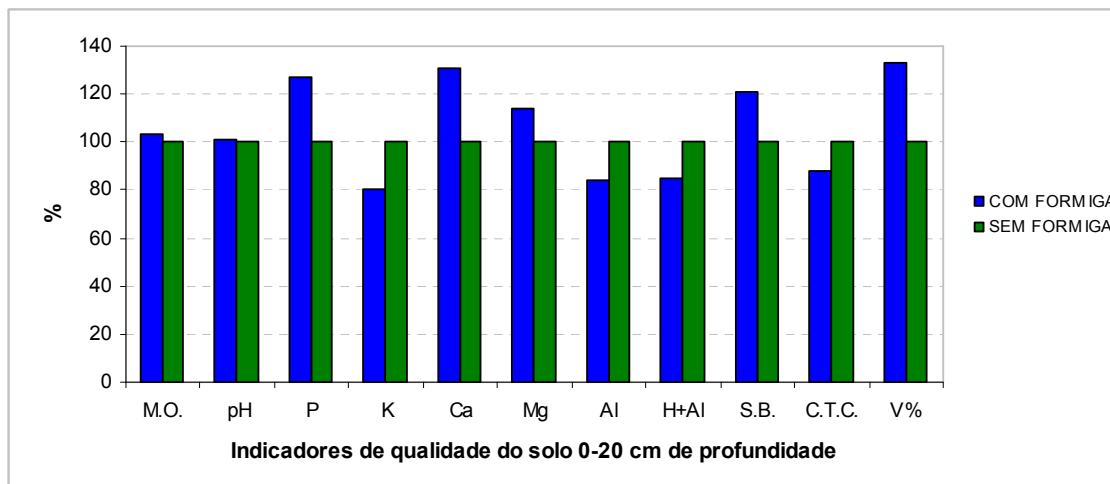
A correlação de cada nutriente nas diferentes profundidades para as amostras de solos na presença e ausência de formigueiros foi realizada, e não houve diferença estatística a um nível de 5% de probabilidade (tabelas 15-19 em anexo). Porém, a análise das médias demonstrou que, de maneira geral, os teores de nutrientes foram superiores nas áreas com a presença de formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa*, provavelmente devido aos resíduos depositados por estes insetos no solo, entretanto sem correlação com as profundidades.

Na tabela 15 (em anexo), que relaciona os macronutrientes e características químicas de solos na ausência e presença de formigueiros de 0-20 cm de profundidade, pode-se perceber que apesar de não ocorrer diferença estatística entre as análises, houve aumento das médias nos teores dos nutrientes: fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), além da matéria orgânica (M.O.), potencial hidrogeniônico (pH), soma de bases (SB) e saturação de bases (V%), nas áreas com formigueiros.

A princípio, este incremento nos nutrientes, parecem valores não significativos por serem muito próximos, pois, a análise de variância não apresentou diferença estatística, porém, quando analisados mais detalhadamente, se tornam representativos.

Devido à análise não apresentar valores significativos, foi realizada uma análise percentual sobre os dados das tabelas 15-19 (em anexo), desta forma os valores encontrados nos solos sem a ocorrência de formigueiros foram considerados como testemunha, ou seja, os nutrientes destas amostras não foram influenciados por formigueiros, assim, por diferença mensurou-se o acréscimo ou decréscimo dos nutrientes devido ao resíduo depositados pelos formigueiros no solo (tabelas 15a, 16a, 17a, 18a e 19a em anexo).

Com esta análise, percebe-se que o fósforo teve um aumento percentual de aproximadamente 27% da sua concentração na área com formigueiros, em relação às amostras na área sem formigueiros (de 5,20 para 6,60 mg/dm³). Isto é, 5,20 g/dm³ representa 100% do fósforo encontrado no solo sem a presença de formigueiros e 6,60 g/dm³ representa a quantidade encontrada no solo com a ocorrência de formigueiros. Relacionando estes valores, mensurou-se um acréscimo de 27% de fósforo no solo. Utilizando a mesma metodologia, observou-se que o cálcio apresentou um acréscimo percentual de aproximadamente 31%, o magnésio de 14 %, a matéria orgânica de 3%, o pH de 1%, a soma de bases de 21% e saturação de bases de 33% em relação as amostras sem a ocorrência dos formigueiros (Gráfico 10).

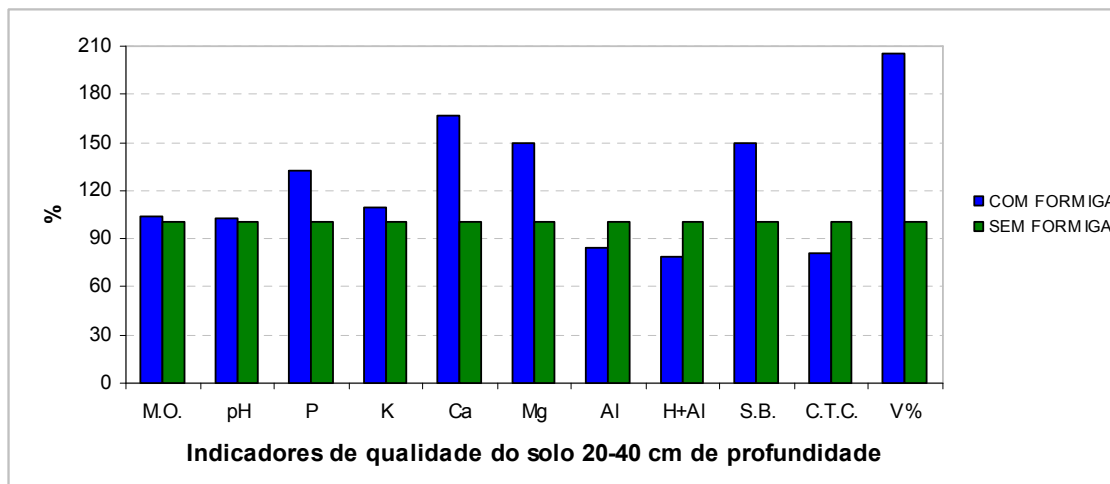


FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 10 - INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COLÔNIAS DE FORMIGAS *Atta sexdens rubropilosa* ENTRE 0-20 CM DE PROFUNDIDADE.

Nesta avaliação percentual foi possível detectar que grande parte dos teores de nutrientes aumentaram significativamente nas áreas com a presença dos formigueiros e também nas diferentes profundidades. Concentrações mais altas de Ca, Mg e matéria orgânica nos ninhos, já haviam sido reportadas em solos superficiais (0-20 cm) de *Atta laevigata* em área de savana venezuelana, em relação as áreas sem a influência de colônias (FARJI-BRENER & SILVA, 1995) e em solos oriundos de colônias de *A. colombica* em floresta tropical úmida do Panamá (HAINES, 1978). Moutinho *et al.* (2003) também encontraram maiores concentrações de vários macronutrientes em diferentes profundidades em um perfil de saueiros (0-300 cm) na região amazônica.

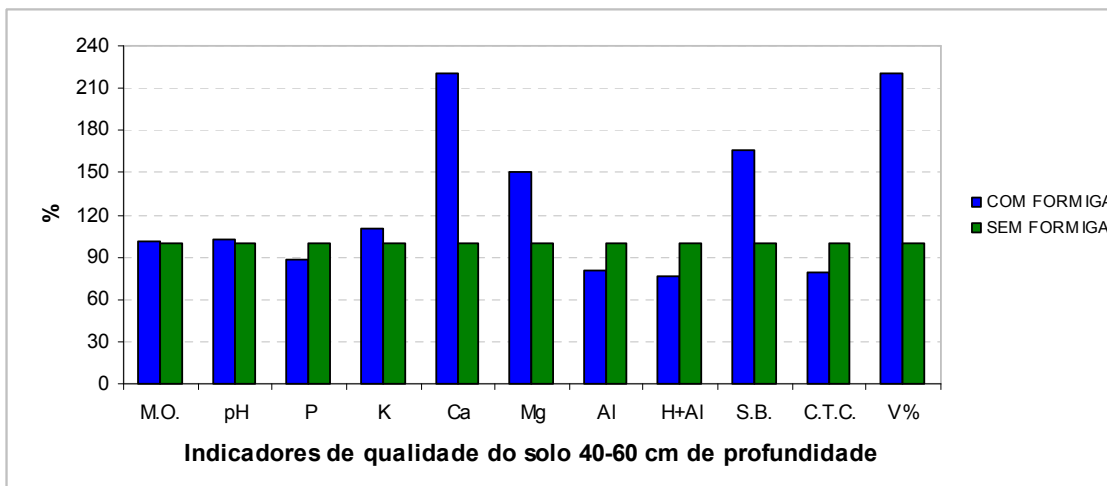
Na tabela 16a (em anexo), que relaciona os macronutrientes e características químicas de solos no perfil entre 20-40 cm de profundidade, das amostras com a presença e a ausência de formigueiros, nota-se que o aumento percentual nos teores dos nutrientes nas áreas com formigueiros em relação às áreas sem formigueiros foi de 32% de fósforo, 10% de potássio, 67% de cálcio, 50% de magnésio, 4% de matéria orgânica, 3% de pH, 49% na soma de bases e 105% na saturação de bases (Gráfico 11).



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 11 - INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COLÔNIAS DE FORMIGAS *Atta sexdens rubropilosa* ENTRE 20-40 CM DE PROFUNDIDADE.

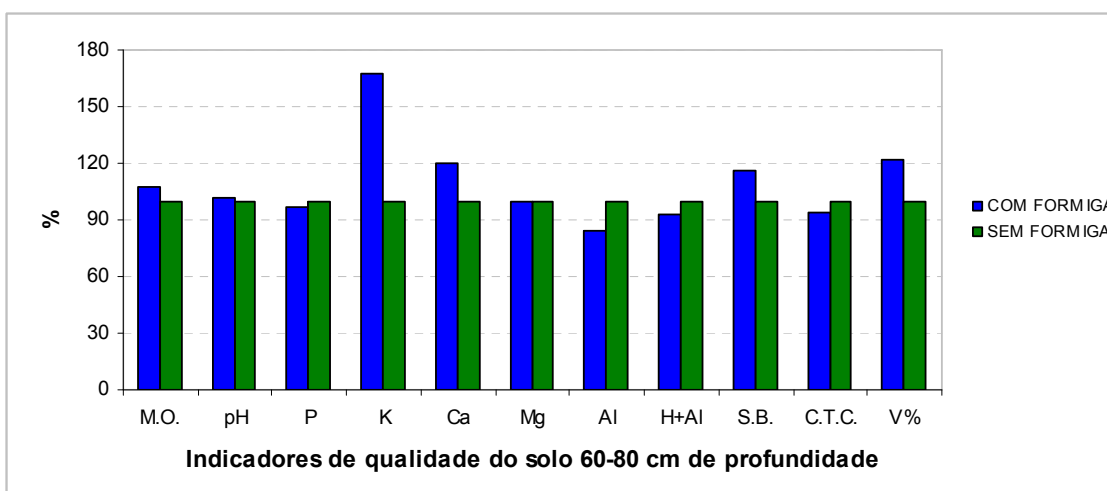
Na tabela 17a (em anexo) que relaciona os macronutrientes e características químicas de solos na ausência e presença de formigueiros de 40-60 cm de profundidade podemos observar que um aumento percentual nos teores de nutrientes foram de 10% de potássio, 120% de cálcio, 50% de magnésio, 1% de matéria orgânica, 2% de pH, 66% na soma de bases e 121% na saturação de bases. Nesta análise o potássio se manteve constante em relação à profundidade de 20-40 cm. Nesta profundidade, o fósforo apresentou um decréscimo de 12% na área com a ocorrência de formigueiros, quando comparadas à área sem a ocorrência destes (Gráfico 12).



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 12 - INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COLÔNIAS DE FORMIGAS *Atta sexdens rubropilosa* ENTRE 40-60 CM DE PROFUNDIDADE.

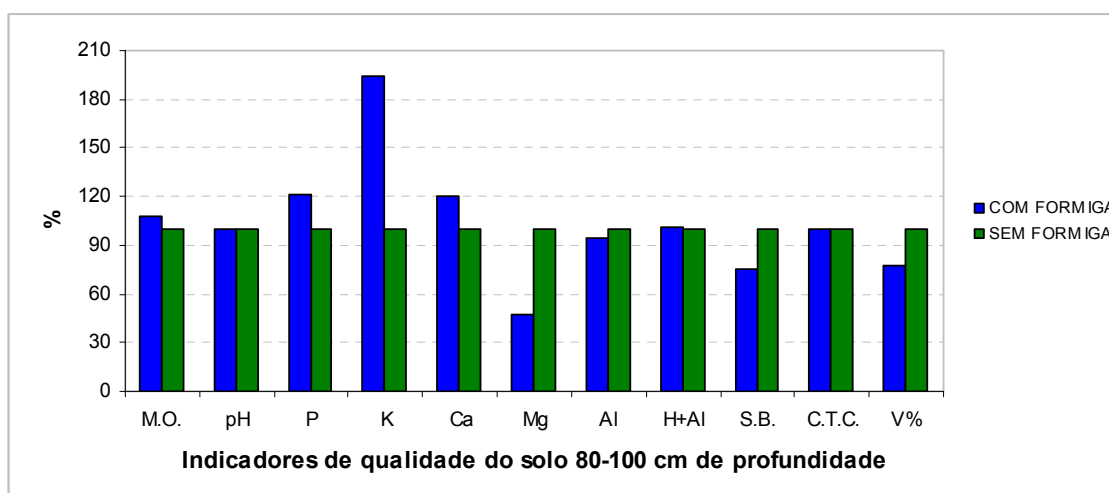
Analisando a tabela 18a (em anexo) que compreende os dados de 60-80 cm de profundidade, percebe-se que o potássio teve um aumento percentual de aproximadamente 67% da sua concentração na área com formigueiros, em relação às amostras sem formigueiros. O cálcio apresentou um acréscimo de aproximadamente 20%, a matéria orgânica de 7%, o pH de 2%, a soma de bases de 16% e saturação de bases de 22%. O magnésio apresentou valores iguais de concentração, nas áreas com e sem formigueiros, nesta profundidade (Gráfico 13).



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 13 - INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COLÔNIAS DE FORMIGAS *Atta sexdens rubropilosa* ENTRE 60-80 CM DE PROFUNDIDADE.

Nas análises da tabela 19a (em anexo), que relaciona a quantidade de macronutrientes e características químicas de solos na ausência e presença de formigueiros de 80-100 cm de profundidade, percebe-se que o fósforo teve um aumento percentual de aproximadamente 21% da sua concentração na área com a ocorrência de formigueiros, em relação às amostras sem formigueiros. O potássio apresentou um acréscimo de 94%, o cálcio de aproximadamente 20% e a matéria orgânica de 8%. Os teores de magnésio, soma de bases e a saturação de bases apresentaram um decréscimo nos seus valores nas áreas com a ocorrência dos formigueiros de 53%, 15% e 22%, respectivamente, em relação a área sem a ocorrência destes formigueiros. O pH não variou nas amostras com e sem a ocorrência de formigueiros (4,12) (Gráfico 14).



FONTE: O autor (2011)

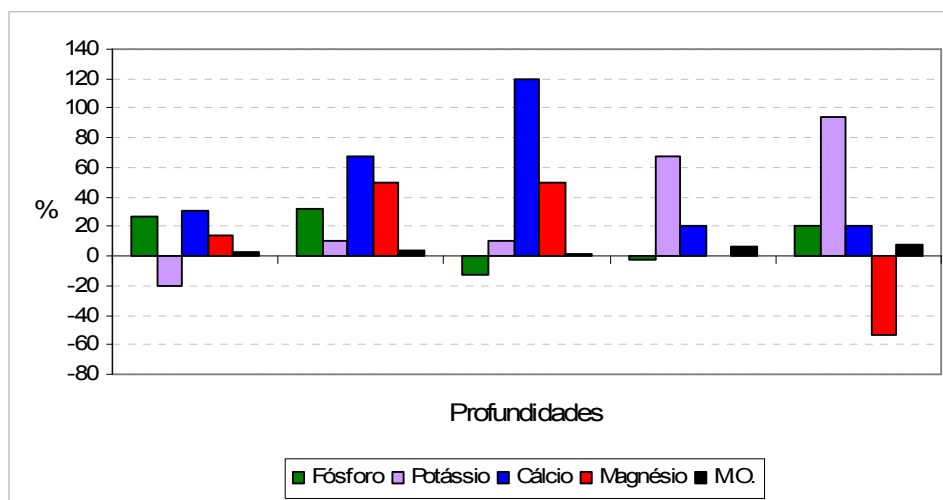
GRÁFICO 14 - INDICADORES DE QUALIDADE EM SOLOS NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE COLÔNIAS DE FORMIGAS *Atta sexdens rubropilosa* ENTRE 80-100 CM DE PROFUNDIDADE.

Estes números indicam que na presença dos formigueiros a deposição dos resíduos produzidos pelos formigueiros pode alterar a concentração de nutrientes. Num estudo realizado por Souto (2007), este apresentou evidências de que as saúvas desempenham um importante papel na modificação química dos solos em cerrado, por meio do acúmulo de MO e nutrientes no interior das colônias em diversas profundidades.

Em geral, os macronutrientes foram encontrados em maior concentração nos primeiros centímetros do solo, ou seja, entre 0-20 cm (tabelas 15a a 19a em anexo). O mesmo ocorreu com a concentração de matéria orgânica, que foram encontrados

teores de 36,444, 34,636, 33,378, 31,398 e 26,638 nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm respectivamente, ocorrendo um decréscimo dos teores com o aumento da profundidade.

Esperava-se encontrar acréscimos de nutrientes nas maiores profundidades, onde se encontram as câmaras de lixo, porém, pode-se notar, observa-se no gráfico 15, que não houve correlação da concentração de nutrientes com o aumento da profundidade.



FONTE: O autor (2011)

GRÁFICO 14 - ACRÉSCIMO E DECRÉSCIMO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM RELAÇÃO ÀS PROFUNDIDADES.

Em todas as profundidades foi observado um decréscimo da concentração de alumínio e alumínio + hidrogênio nas amostras de solos com a presença de formigueiros (tabelas 15a a 19a em anexo). Este é um fator positivo, pois, estes elementos em alta concentração podem ser tóxico as plantas. O fato de estes elementos ocorrerem em menor quantidade nas áreas com a presença de formigueiros pode ser devido ao fato de que o fungo simbiote utilize-os para o seu desenvolvimento, ou ainda, que estes insetos procurem solos para a instalação dos novos ninhos em áreas com baixa concentração destes elementos.

Outra observação é que a soma de base (SB) aumentou progressivamente sua concentração nas áreas com a presença dos formigueiros. Em relação às áreas sem a ocorrência, até aproximadamente 60 cm de profundidade, houve um incremento percentual de 21%, 49% e 66% nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, respectivamente (tabelas 15a a 19a em anexo). Nas amostras a partir

de 60-80 cm de profundidade, houve uma redução na soma de bases, apresentando um valor percentual de 16%, porém, este valor ainda é positivo em relação à área sem ocorrência dos formigueiros. Na amostra de 80-100 cm de profundidade a soma de bases apresentou um decréscimo de 15% na área com formigueiros em relação à área sem formigueiros, isto é, entre 80-100 cm de profundidade encontramos maiores valores de SB nas áreas sem formigueiros.

A saturação de bases (V%) apresentou resultados semelhantes à soma de bases (tabelas 15a a 19a em anexo). Foi verificado um aumento na concentração de V% com o aumento da profundidade até 60 cm, apresentando valores percentuais de 33%, 105% e 121% nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60, respectivamente. Na amostra com profundidade de 60-80 cm houve uma redução desta concentração em relação à profundidade 40-60 cm, apresentando um valor percentual de 22%. Isto é, a concentração foi menor em relação a profundidade 40-60, porém, maior em relação à área sem a ocorrência dos formigueiros. Já a partir da profundidade de 80-100 cm, observou-se uma redução de 22% da concentração de V% nas áreas com a ocorrência dos formigueiros, em relação às áreas sem a ocorrência destes.

A capacidade de troca catiônica (CTC) apresentou resultados contrários à SB e V% (tabelas 15a a 19a em anexo). Nas profundidades 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm e 60-80 cm obteve-se nas amostras um valor na CTC de 12%, 19%, 21% e 6% a menos, respectivamente, nas áreas com a presença de formigueiros, em relação à área sem a ocorrência destes. Nas amostras de 80-100 cm de profundidade não houve diferenças nos valores da CTC entre ambas as áreas.

A CTC efetiva consiste na soma de bases mais o alumínio ($CTC_{ef} (cmol/kg) = SB + Al$). Se levarmos em consideração que a soma de bases aumentou e a CTC diminuiu, isto significa que a concentração de alumínio reduziu em maior proporção do que aumentou a concentração da soma de bases. Esta informação corrobora com os dados do alumínio neste experimento, que apresentou uma redução nos seus teores em todas as profundidades nas áreas com a presença dos formigueiros, quando comparadas as áreas sem a ocorrência dos formigueiros.

Um fato que poderia explicar a redução nos teores de alumínio nas áreas com a presença dos formigueiros seria que a matéria orgânica estaria complexando estes elementos, já que a M.O. sofreu um acréscimo na sua concentração nestas áreas. Santos *et al.* (2008) cita que a matéria orgânica aumenta a disponibilidade de

nutrientes para as culturas, assim como a capacidade de troca de cátions e a complexação de elementos tóxicos, fato que poderia explicar a redução da CTC neste experimento.

Nota-se na tabela 20, que o teor de cálcio teve um aumento porcentual significativo entre as profundidades de 20-40 cm para 40-60 cm, com valores de 67% para 120%, respectivamente, representado um acréscimo de 79% na concentração de cálcio entre estas profundidades. Este fato pode ter ocorrido, caso a amostra tenha sido retirada de uma região com acúmulo de resíduo, ou seja, de uma panela de lixo, ou ainda de uma região do formigueiro com depósito de vegetais, que, geralmente, contém alta concentração de cálcio.

TABELA 20 - ACRÉSCIMO E DECRÉSCIMO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM RELAÇÃO ÀS PROFUNDIDADES (CURITIBA, 2011).

Profundidade (cm)	Nutriente (%)				
	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	M.O.
0-20	27	-20	31	14	3
20-40	32	10	67	50	4
40-60	-12	10	120	50	1
60-80	-3	67	20	0	7
80-100	21	94	20	-53	8

FONTE: O autor (2011).

Observando todos estes dados podemos perceber a influência dos formigueiros sobre os solos e as plantas que nele habitam, pois, se estes nutrientes podem ser novamente disponibilizados no solo, provavelmente as plantas utilizam-nos para o seu desenvolvimento. Segundo Souto (2007) o estrato arbóreo/arbustivo é o mais beneficiado com a presença de formigueiros. Este autor ainda cita nos seus estudos que em solos na presença de formigueiros, pode haver maior concentração de raízes devido à maior disponibilidade de nutrientes que estes formigueiros depositam no solo. Moutinho *et al.* (2003) também relataram aumento na biomassa de raízes dentro de saúveiros de *A. sexdens* em floresta secundária na região amazônica.

Com bases nos dados obtidos neste trabalho conclui-se que o resíduo gerado pelos formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* aumentaram a quantidade de nutrientes na região onde se encontram as colônias, comprovando a importância ecológica das formigas na recomposição dos ambientes.

6 CONCLUSÕES

- Do peso total de folhas de *Eucalyptus grandis* fornecido as colônias de *A. sexdens rubropilosa*, 63,65% é convertido em resíduos.
- Dos nutrientes contidos nas folhas de *E. grandis*, 51% são consumidos para a nutrição da colônia de *A. sexdens rubropilosa* e, os demais nutrientes, que correspondem a 49%, estão concentrados nos resíduos gerados por estes insetos.
- O macronutriente mais consumido pelo fungo simbiote e a colônia de formigas cortadeiras é o nitrogênio. O micronutriente mais consumido é o manganês.
- Solos com formigueiros possuem maior teor de matéria orgânica do que solos sem formigueiros.
- Há um aumento nos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio nas áreas com formigueiros em relação à área sem formigueiros, em solos com plantios de *Eucalyptus grandis*.
- Os resíduos gerados pelos formigueiros de *A. sexdens rubropilosa* e analisados no NIR possuem características químicas semelhantes.
- O NIR confirmou que os fungos cultivados pelas colônias de *A. sexdens rubropilosa* pertencem à mesma espécie.
- O NIR pode ser utilizado para identificação de castas de formigas cortadeiras.

7 RECOMENDAÇÕES

Realizar um estudo minucioso do fungo simbiote cultivado pelas colônias de formigas cortadeiras, utilizando diversos meios de cultura, de qualidade química conhecida, para verificar quais destes nutrientes são utilizados por este fungo, sem a influência da colônia das formigas cortadeiras e do meio em que estão inseridas.

Realizar experimentos de campo pesquisando os formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa*, em solos e clima distintos.

Utilizar o infravermelho próximo para classificação de subespécies de formigas cortadeiras.

Avaliar espécies distintas de formigas cortadeiras para verificar se o infravermelho próximo pode ser utilizado na identificação destes insetos.

Verificar se a técnica de NIR pode ser utilizada para verificar os teores de macro e micronutrientes em resíduos gerados por formigas cortadeiras.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, G. C.; CALDAS, L. S.; HARIDASAN, M. & EITEN, G. Belowground organic matter and root: a shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. **Revista Brasileira de Ecologia**, v.1: 36-49. 1997.
- ABRIL, A. B. & BUCHER, E. H. Evidence that the fungus cultured by leaf-cutting ants does not metabolize cellulose. **Ecology Letters** 5: 325-328. 2002.
- ABRIL, A. B. & BUCHER, E. H. Nutritional sources of the fungus cultured by leaf-cutting ants **Applied Soil Ecology** 26: 243-247. 2004
- ALDRICH B. T.; MAGHIRANG E. B.; DOWELL F. E.; KAMBHAMPATI S. Identification of termite species and subspecies of the genus *Zootermopsis* using near-infrared reflectance spectroscopy. Art. n. 18. **J. Insect Sci.** 7: 18-18, 2007.
- AMANTE, E. Prejuízos causados pela formiga saúva em plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* no Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, 6: 355-63, 1967.
- ANGELI-PAPA E EYMÉ, J. Lês champignons cultivés par lês fourmis Attinae. Évolution des structures cellulaires au cours du développement. **Annales des Sciences Naturelles**, Botanique, Paris, v.7, nº13, p.103-129, 1985.
- ANTONIALLI, J. W. F; LIMA, S. M; ANDRADE, L. H. C; SÚAREZ, Y. R. Comparative study of the cuticular hydrocarbon in queens, workers and males of *Ectatomma vizottoi* (Hymenoptera, Formicidae) by Fourier transform-infrared photoacoustic spectroscopy. **Genetics and Molecular Research** 6 (3): 492-499 (2007).
- ARAÚJO, M. S.; DELLA LUCIA, T. M. C. & MAYHÉ-NUNES, A. J. Levantamento de Attini (Hymenoptera: Formicidae) em povoamento de *Eucalyptus* na região de Paraopeba, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, 14: 323-328. 1997
- ASSISTAT. Assistência Estatística. Desenvolvido pelo Prof.Dr. Francisco de Assis do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). www.assistat.com/indexp.html. Download do arquivo em 09.12.10.

AUTUORI, M. Algumas observações sobre formigas cultivadoras de fungo (Hymenoptera: Formicidae). **Revista de Entomologia**, Rio de Janeiro, v.11, n. ½, p.215-226, 1940.

AUTUORI, M. Contribuição para o conhecimento da saúva (*Atta* spp. Hymenoptera, Formicidae). I – Evolução do saúveiro (*Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908). **Arq. Inst. Biol.** v.12. São Paulo, 1941.

AUTUORI, M. Contribuição para o conhecimento da saúva (*Atta* spp. Hymenoptera, Formicidae). II – O saúveiro inicial (*Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908). **Arq. Inst. Biol.** v.13: 67-86. São Paulo, 1942.

AUTUORI, M. Contribuição para o conhecimento da saúva (*Atta* spp. Hymenoptera - Formicidae).VI – O saúveiro depois da primeira revoada (*Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908). **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, 18: 39-70. 1947.

AUTUORI, M. Investigações sobre a biologia da saúva. Separata da revista **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.1, nº1-2, p.4-12, 1949.

AUTUORI, M. **A saúva e seu combate**. Anhembi, v.25, nº 74, p.1-20, 1957.

BATMANIAN, G. J. & HARIDASAN, M. Primary production and accumulation of nutrients by the ground layer community of cerrado vegetation of central Brazil. **Plant and Soil** 88: 437-440. 1985

BELINOVSKI, C. Fotografia nas coletas de campo, Capão Bonito, São Paulo, 2010.

BIRCH, M. Aphrodisiac pheromones in insects. In: Birch, M.C. (Ed.), **Pheromones**. North Holland, Amsterdam, p. 115. 1974

BLOMQUIST, G. J.; TILLMAN, J. A., MPURU, S.; SEYBOLD, S. J. The cuticle and cuticular hydrocarbons of insects: structure, function, and biochemistry. In: Pheromone communication in social insect. **Westview Press**, Boulder, 35-54, 1998.

BORBA, R. da S.; LOECK, A. E.; BANDEIRA, J. de M.; MORAES, C. L.; CENTENARO, E. D. Crescimento do fungo simbiote de formigas cortadeiras do gênero *Acromyrmex* em meios de cultura com diferentes extratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.725-730, mai-jun, 2006.

BORBA, R. da S.; LOECK, A. E.; BRANCO, J. S. C.; KOPP, M. M.; OLIVEIRA, A. da C. Polimorfismo do fungo simbionte de formigas cortadeiras submetido à luz ultravioleta. **Ciência Rural**, v.37, n.5, p.1221-1226, set-out, 2007.

BRANCHER, N. **Avaliação eletroforética e morfológica do fungo cultivado pelas formigas cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex***. Dissertação de mestrado, UFPel, Pelotas, 1993. 58p.

BRERETON, R. G. Introduction to multivariate calibration in analytical chemistry. **Analyst**. v. 125, p. 2125-2154, October, 2000.

BRERETON, R. G. **Applied chemometrics for scientists**. Hoboken: J. Wiley, 2007, 379 p.

BROUGH, E. J. The multifunctional role of the mandibular gland secretion of the Australian desert ant, *Calomyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). **Z. Tierpsychol., Hamburg** 46, 279–297, 1978.

BUCHER, E. H.; MARCHESINI, V.; ABRIL, A. Herbivory by leaf-cutting ants: nutrient balance between harvested and refuse material. **Biotropica** 36: 327-332. 2004

CALDAS, C. Formigas e plantas: troca de favores e benefícios mútuos. **Ciência e Cultura**. São Paulo, v.59, n.4, p.12-13, 2007.

CARNEIRO, M. E. **Classificação de lâminas de madeira de *Pinus* spp. por espectroscopia ótica**. Dissertação de mestrado. Setor de Ciências Agrárias. UFPR, Curitiba, 2008. 96f.

CARVALHO, A. M. A. **Alguns dados sobre a divisão de trabalho entre obreiras de *Atta sexdens rubropilosa* Forel. 1908 (Hymenoptera: Formicidae) em colônias iniciais, mantidas em laboratório**. São Paulo, 1972. 175p. Tese (Doutorado), Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.

CARVALHO, J. H. de. Combate à saúva. Ministério da Agricultura. Serviço de defesa sanitária vegetal. (3): 1-18, Rio de Janeiro, 1935.

CHERRET, J.M. Possible reasons for the mutualism between leaf-cutting ants (Hymenoptera – Formicidae) and their fungus. **Biologie – Ecologie Mediterranean.**, v.7, nº3, p.113-122, 1980.

CHERRETT, J. M. Leaf-cutting ants. p. 473-488. *In*: Lieth, H. & Werger, M. J. A (eds.). **Tropical rain forest ecosystems: biogeographical and ecological studies**. Elsevier, Amsterdam. 1989

COLE, T. J.; RAM, M. S.; DOWELL, F. E.; OMWEGA, C. O.; OVERHOLT, W. A.; RAMASWAMY, S. B. Near-infrared spectroscopic method to identify *Cotesia flavipes* and *Cotesia sesamiae* (Hymenoptera: Braconidae). **Annals of the Entomological Society of America** 96: 865-869, 2003.

CÔCCO, L. C. **Previsão de propriedades físico-químicas e composição química da gasolina a partir de espectros no infravermelho**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Curitiba, 2008.

COUTINHO, L. M. Aspectos ecológicos da saúva no Cerrado. A saúva, as queimadas e sua possível relação na ciclagem de nutrientes minerais. **Boletim de Zoologia da Universidade de São Paulo**, 8: 1-9. 1984.

CRAVEN, S.E., DIX, M.W. & MICHAELS, G.E. Attine fungus gardens contain yeasts. **Science**, vol.169, p.184-186, 1970.

DELAGE-DARCHEN, B. Les glandes post-pharyngiennes des fourmis connaissances actuelles sur leur structure, leur fonctionnement, leur role. **Ann. Iol.** 15, 63–76, 1976.

DELITTI, W.B.C. Estudos de ciclagem de nutrientes: Instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. Volume 1: Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas Brasileiros. **Instituto de Biologia**, UFRJ. Rio de Janeiro, 1995. p.469-486.

DELLA LÚCIA, T. M. C, VILELA, E.F. & MOREIRA, D.D.O. Criando saúvas em laboratório. Revista **Ciência Hoje**, 6(35): 28-29. 1987.

DELLA LÚCIA, T. M. C. **As formigas cortadeiras**. Viçosa, 1993. 262p.

DOWELL, F. E.; THRONE, J. E.; WANG, D.; BAKER, J. E. Identifying stored-grain insects using near-infrared spectroscopy. **Journal of Economic Entomology** 92: 165-169, 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p

FALKENBERG, M. B.; SANTOS, R. I.; SIMÕES, C. M. O. **Introdução à análise fitoquímica**. Simões, C. M. O.; Schenkel, E. P.; Gosmanm, G.; Mello, J. C. P.; Mentz, L. A.; Petrovick, P. R., eds.; Ed. da UFRGS/UFSC, Porto Alegre/ Florianópolis, 2004, cap. 10.

FARJI-BRENER, A. G. & SILVA, J. F. Leaf-cutting ants and forest groves in a tropical parkland savanna of Venezuela: facilitated succession? **Journal of Tropical Ecology** v.11: 651-669. 1995.

FARJI-BRENER, A. G. & ILLES, A. E. Do leaf-cutting ant nests make bottom-up gaps in neotropical rain forests? A critical review of the evidence. **Ecology Letters** v.3: 219-227. 2000

FEBVAY, G. & KERMARREC, A. Morphologie et fonctionnement du filtre infrabucal chez une attine *Acromyrmex octopinosus* (Reich) (Hymenoptera: Formicidae). Role de la poche infrabuccale. **Journal of Insect Morphology & Embryology**, v.10, nº5/6, p.441-449, 1981.

FEBVAY, G. & KERMARREC, A. Prevention of feeding by *Acromyrmex octopinosus* with ant feedants from yams. In: **Lofgren, C.S. & USA, Westview Press**, p. 247-259, 1986.

FERNÁNDEZ, J. I. R. **COENOSIINI NEOTROPICAIS (MUSCIDAE: DIPTERA): TAXONOMIA, FILOGENIA E CONTRIBUIÇÃO DA ESPECTROSCOPIA INFRAVERMELHA**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008. 153p.

FISHER, P.J.; STRADLING, D.J.; PEGLER, D.N. Leaf cutting ants, their fungus gardens and the formation of basidiomata of *Leucoagaricus gongylophorus*. **Mycologist**, v.8, p.128-131, ago. 1994.

FOLEY, W.J.; MACILWEE, A.; LAWLER, I.; ARAGONES, L.; WOOLNOUGH, A.P.; BERDING, N. Ecological application of near infrared reflectance spectroscopy- a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance. **Oecologia** 116: 293-305, 1998.

FORTI, L. C.; CROCOMO, W. B.; GUASSU, C. M. O. Bioecologia e Controle das Formigas Cortadeiras de Folhas em Florestas Implantadas. São Paulo. FEPAF. **Boletim didático** n.º 4, 1987. 30p.

FORTI, L. C. Professor desvenda formigueiro. Pragas agrícolas. **O Estado de São Paulo**. 17 de setembro de 2008.

FOWLER, H. G.; FORTI, L.C.; DI ROMAGNANO, L.F.T. *Methods for the evaluation of leaf-cutting ant harvest*. In: VANDER MEER, R.K.; JAFFE, K.; CEDENO, A. (Ed.), **Applied Myrmecology**: a world perspective. Boulder: Westview Press, 1990. p.228-241

GALLO, D. (*in memoriam*) et al. **Entomologia agrícola**. v.10. Piracicaba, SP: FEALQ, 2002.

GAMA, V. O sistema salivar de *Camponotus* (*Myrmothrix*) *rufipes* (Fabricius, 1775), (Hymenoptera: Formicidae). **Rev. Brasil. Biol.** 45, 317–359, 1985.

GONÇALVES, C. R. **As formigas cortadeiras**. Boletim de campo 20 (181). Pág. 7-23. Rio de Janeiro, 1964.

GONÇALVES, C. R. **As principais saúvas brasileiras**. Boletim de campo 20 (192). Pág. 4-13. Rio de Janeiro, 1965.

GUERRA, M. B. B; SCHAEFER, C. E. G. R; SOUSA-SOUTO, L. Características químicas do lixo de formigueiros de *Atta sexdens rubropilosa* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) mantidos com diferentes substratos. Nota técnica. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1185-1189, 2007.

HAINES, B. Element and energy flows through colonies of the leaf-cutting ant, *Atta colombica* in Panama. **Biotropica**, v.10: 270-277. 1978

HÖLLDOBLER, B. & WILSON, E.O. **The ants**. Cambridge, Harvard University Press, 1990. 732p.

HOWARD, R. W. Cuticular hydrocarbon and chemical communication. In: Insect lipids: chemistry, biochemistry and biology (Stanley-Samuelson D.W. and Nelson D. R. eds.). **University of Nebraska Press**, Lincoln, 179-226. 1993.

HUBBELL, S.P. & WIMER, D.F. Host plant selection by an Attini ant. **Social Insects in the Tropics**, 2:133-53, 1988.

JACOBY, M. A saúva: uma inteligência nociva. Ministério da Agricultura. Serviço de Informação Agrícola. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 1950.

JIM, D. **The Microbial World** - Basidiomycota: activities and lifestyle. 2008. Disponível em: <http://www.biology.ed.ac.uk/research/groups/jdeacon/microbes/basidio.htm>. Acesso em: 06 de janeiro de 2010.

JONKMAN, J. Determination of the vegetative material intake and refuse production ratio in two species of grass-cutting ants (Hym.: Attini). **Zeitschrift für Angewandte Entomologie**, v. 84, n.1, p. 25-34. 1977

JORDAN, C. F. & KLINE, J. R. Relative stability of mineral cycles in forest ecosystems. **Amer. Nat.**, 1972. 106(948) : 237-253.

JURUENA, L. Espécies de formigas cortadeiras ocorrentes no estado do Rio Grande do Sul. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Agricultura. Departamento de Pesquisa. INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. **IPAGRO Informativo** n. 23, Julho de 1980.

JUSTI JR., J.; IMINES, S. L.; BREGMANN, E. C.; CAMPOS-FARINHA, A. E. C.; ZORZENON, F. J. Formigas cortadeiras. **Boletim Técnico do Instituto Biológico**, São Paulo, v.4, p.5-31, 1996

KRADJEL, C. An overview of Near Infrared spectroscopy: from an application's point of view. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, 339: 65-67, 1991.

LEE, K. E.; WOOD, T. G. **Termites and soils**. London: Academic Press, 1971. 251p.

LENOIR, A.; FRESNEAU, D.; ERRARD, C.; HEFETZ, A. Individuality and social representation concept. In: Information: Processing in Social Insects. **Birkhäuser Verlag**, Basel, 219-237, 1999.

LEVEY, J. & BYRNE, M. M. Complex Ant-Plant Interactions: Rain Forest Ants as Secondary Dispersers and Post-Dispersal Seed Predators. **Ecology** 74: 1802-1812. 1993.

LIMA, M. R. de; SIRTOLI, A. E. **Diagnóstico e recomendação de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba: UFPR/Setor de ciências Agrárias, 2006. 341p.

LIMA, M. R. de. **Solos Florestais**. Apostila da Disciplina de Solos Florestais. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia agrícola. Curitiba, 2007. 46p.

LITTLEDYKE, M. & CHERRETT, J. M. Direct ingestion of plant sap from cut leaves by the leaf-cutting ants *Atta cephalotes* (L.) and *acromyrmex octospinosus* (reich) (Formicidae, Attini). **Bulletin of Entomological Research**. Volume 66, Issue 02, June 1976, pp 205-217

LOECK, A. E. ; PIEROBOM, C. R. ; AFONSO, A. P. S. ; ZANELA, C. ; COIMBRA, Silvana . Growth of fungi cultivated by cutting ants on Murashige & Skoog nutrient solution in different pH.. In: XXI INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY/ XVIII BRAZILIAN CONGRESS OF ENTOMOLOGY, 2000, Foz do Iguaçu/PR. **Abstracts**, 2000. v. 1. p. 527-527.

LOECK, A. E. Longevidade de uma rainha de *Atta sexdens*. **Informativo da Sociedade Entomológica do Brasil**, a.32, v.32, n3, p.3, dez. 2007.

LUGO, A. E.; FARNWORTH, E. G.; POOL, D.; JEREZ, P.; KAUFMAN, G. The impact of the leaf cutter ant *Atta colombica* on the energy flow of a tropical wet forest. **Ecology** 54:1292–1301. 1973.

MAGALHÃES, W. L. E.; ZANGISKI, F.; KLEIN, C. H.; HIGA, A. R. Uso da Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIR) para Predição Não-Destrutiva de Densidade Básica da Madeira de *Pinus taeda*. **Comunicado Técnico** 159. Colombo, PR, 2006.

MARICONI, F.A.M. **As saúvas**. Ed. Agronômica “Ceres”. 167p. São Paulo, 1970.

MARICONI, F.A.M. As saúvas. Circular Técnica Nº. 77. **IPEF**, São Paulo, 1979.

MARTIN, M.M. The biochemical basis of the fungus-attine ants symbiosis. **Science.**, v.169, p. 16-28, 1970.

MARTINS, F. C. **Reino fungi – divisão basidiomycota**. Disponível em: http://www.ccaa.ufma.br/fredgardson/basidiomycota_alunos.pdf Universidade Federal do Maranhão. Acessado em: 25 março de 2009.

MATTANA, R. S. **Produção De Biomassa Foliar, Óleo Essencial E 4-Nerolidilcatecol De *Pothomorphe umbellata* (L.) Miq.** Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2009. 138p.

MICHENER, C.D. The Social Behavior of the Bees: A Comparative Study. **The Belknap Press of Harvard University**, Cambridge, MA, 1974.

MOLLER, A. As hortas de fungos de algumas formigas sul americanas. **Rev. Ent.** 1941. Pág. 1-120.

MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; DAVIDSON, E. A. Influence of leaf-cutting ant nests on secondary forest growth and soil properties in Amazônia. **Ecology**, 84: 1265-1276. 2003.

MUELLER, U.G. Ant versus fungus versus mutualism: ant-cultivar conflict and the deconstruction of the attine ant-fungus symbiosis. **American Naturalist**, v.160 p.67-98. Chicago, 2002.

MÜELLER, J. & HEINDL, A. Drying of medicinal plants. In: **Medicinal and Aromatic Plants**. Capítulo 17. University of Hohenheim, Institute of Agricultural Engineering. Stuttgart, Germany, 2006. p. 237-252.

NEWHEY, P. S.; ROBSON, S. K. A.; CROZIER, R. H. Near-infrared spectroscopy identifies the colony and nest of origin of weaver ants, *Oecophylla smaragdina* Insect. Soc. Vol. 55, 2008. p. 171 – 175

NISGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Tese de doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR. Curitiba, 2005. 160 p.

OTAMENDI, J. C. **Las hormigas podadoras Del Brasil:** informe sobre uma gira de estúdio. Buenos Aires: Ministério de Agricultura de La Nacion/Instituto de Sanidad Vegetal, 1947, 47p. (Boletín, 10).

PAGNOCCA, C. *et al.* RAPD analysis of the sexual state and sterile mycelium of the fungus cultured by the leaf-cutting ant *Acromyrmex hispidus fallax*. **Mycology Research**. v.105, n.2, p.173-176, fev. 2001.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. Journal of Brazilian Chemical. Society, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

PAULA, H. de S. **Estudo do gênero *Atta* Fabr. no Estado do Paraná (Formiga Saúva).** Tese: Escola Superior de Agronomia e Veterinária do Paraná. Curitiba, 1957.

PAVON, L. F. & MATHIAS, M. I. C. Ultrastructural studies of the mandibular glands of the minima, media and soldier ants of *Atta sexdens rubropilosa* (Forel 1908) (Hymenoptera: Formicidae). **Micron**, n.36, p.449–460, 2005.

PEREZ-MENDOZA, J.; DOWELL, F. E.; BROCE, A. B.; THRONE, J. E.; WIRTZ, R. A.; FENG, X.; FABRICK, J. A.; BAKER, J.E. Chronological age-grading of house flies by using near-infrared spectroscopy. **Journal of Medical Entomology** 39: 499-508, 2002.

PEREZ-MENDOZA, J.; THRONE, J. E.; DOWELL, F. E.; BAKER, J.E. Chronological age grading of three species of stored-product beetles by using near-infrared spectroscopy. **Journal of Economic Entomology**. 97: 1159-1167, 2004.

PLANO CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Edição 2002. Disponível em: <http://zisno.com/mapa-municipios-de-sp-estado-de-sao-paulo>. Acesso em: 11 de janeiro de 2011.

POPE, J. M. Near-infrared spectroscopy of wood products. In: CONNERS, T. E.; BANERJEE, S. (Ed.). **Surface analysis of paper**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 142-151.

RADHO-TOLY, S.; MAJER, J. D.; YATES, C. Impact of fire on leaf nutrients, arthropod fauna and herbivory of native and exotic eucalyptus in Kings Park, Perth, Western, Australia. *Aust. Ecol.* 26, 500-506. 2001

RAIJ, B., *et.al.* **Análise Química do Solo para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**, Instituto Agronômico, 2001, Campinas, SP.

RICO-GRAY, V. Ants and flowers. **Biotropica.**, v.9, p.252, 1980.

RILEY, R. G.; SILVERSTEIN, R. M.; MOSER, J. C. Isolation, identification, synthesis and biological activity of volatile compounds from the head of *Atta* ants. **Journal of Insect Physiology**, n.20: 1629-1637. 1974

ROBBINS, C. T. **Wildlife feeding and nutrition**. San Diego: Academic Press, 1993. 352p.

SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª Edição. Porto Alegre, 2008.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92 p.

SCAFI, S. H. F. **Sistema de monitoramento em tempo real de destilações de petróleo e derivados empregando a espectroscopia no infravermelho próximo**. 196f. Tese. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SCAFF, M.; ARNOLD, S.A.; HARVEY, L.M.; MCNEIL, B. Near infrared spectroscopy for bioprocess monitoring and control: current status and future trends. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 26, p. 17-39, 2006

SEFARA, N. L.; CONRADIE, D.; TURNER, P. Progress in the use of near-infrared absorption spectroscopy as a tool for the rapid determination of pulp yield in plantation eucalypts. **Tappsa Journal**. Nov.2000, p.15-17.

SILVA, D. A. T. da. Ciclagem de nutrientes. **Momento Florestal**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná – SEAB. Divisão de Cultivos Florestais, nº 3. 2008.

SILVA, M. F. Revisão: Formigas cortadeiras e fungo simbiote. UFPEL, 2008. Consultado em 06 de janeiro de 2011: <http://www.ufpel.edu.br/prg/sisbi/bibct/acervo/biologia/2008>

SILVA, P. R. V. 2011. Histórico da espectroscopia de infravermelho próximo. Disponível <http://www.angelfire.com/ab/prvs> Acesso em 03 de janeiro de 2011.

SINGER, R. The Agaricales in modern taxonomy. 1986. In: Fisher, P. J.; Stradling, D. J.; Pegler, D. N. Leaf cutting ants, their fungus gardens and the formation of basidiomata o *Leucoagaricus gongylophorus*. **Mycologist**, 8 (3): 541-546. 1994.

SIQUEIRA, C. G. **Estudo do potencial metabólico do fungo *Leucocoprinus gongylophorus* Heim, associado aos ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* Forel (Hymenoptera: Formicidae)**. Dissertação de mestrado, UNESP, Rio Claro, 1996.

SOUSA, L. F. **Plantas preferidas pela saúva**. Div. Agric. 1965. Pág. 23-39.

SOUTO, L. S.; GUERRA, M. B. B., SCHOEREDER, J. H.; SHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, W. L. DA. Determinação do fator de conversão em colônias de *Atta sexdens rubropilosa* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) e sua relação com a qualidade do material vegetal cortado. **Revista Árvore**, vol.31, n.01, p.163-166. Viçosa, 2007.

SOUSA-SOUTO, L.; SCHOEREDER, J. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, W. L. Ant nests and soil nutrient availability: the negative impact of fire. **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, p. 639-646, 2008.

TAYLOR, F. Foraging behaviour of ants: the theoretical considerations. **J. Theor. Biol.**, v.71, p.541-565, 1978.

TOLWEB (TREE OF LIFE – Web Project). **Basidiomycota**. 2008. Disponível em: <http://tolweb.org/Basidiomycota> Acesso em: 06 de janeiro de 2010.

UKAN, D; SOUSA, N. J.; ROGLIN, A.; FERRONATO, M. Z.; BELINOVSKI, C.; SOUZA, K. K. F. de; BURATTO, D. A. Fator de conversão por colônias de *Atta sexdens rubropilosa* monitoradas em laboratório. **XX Simpósio de Mirmecologia**, Petrópolis. Rio de Janeiro, 2011.

VAN DE VIJVER, C. A. D. M.; POOT, P.; PRINS, H. H. T. Causes of increased nutrient concentrations in post-fire regrowth in an East African savanna. **Plant and Soil**, 214: 173-185. 1999.

VASCONCELOS, H.C.; FOWLER, H.G. Foraging and fungal substrate selection by leaf-cutting ants. In: VANDER MEER, R.K.; JAFFÉ, K.; CEDEÑO, A. (Eds.) **Applied myrmecology: a world perspective**. Boulder, Westview Press, p.410-419, 1990.

VERCHOT, L.V.; MOUTINHO, P.R. & DAVIDSON, E.A. Leafcutting ant (*Atta sexdens*) and nutrient cycling: Deep soil inorganic nitrogen stocks, mineralization, and nitrification in Eastern Amazonia. **Soil Biol. Biochem.**, 35:1219-1222, 2003.

VILELA, E. F.; DELLA-LUCIA, T. M. C.; ANJOS, N. Dos; SILVEIRA, S. N. Criação de formiga cortadeira (Formicidae: Attini) em laboratório. ESALQ/CENA, **Boletim Técnico** n.6. Piracicaba, 1995. 15p.

WAGNER, D., JONES, J. B., & GORDON, D. M. Development of harvester ant colonies alters soil chemistry. **Soil Biology and Biochemistry**, 36(5), 797-804. 2004

WEBER, N.A. The fungus growing ants. **Science.**, v.153, p.587-604, 1966.

WEBER, N. A. Gardening ants: the Attines. **Memoirs of the American Philosophical Society**, 90: 1-146. 1972.

WEBER, N.A. A ten-year laboratory colony of *Atta cephalotes*. **Annals of Entomological Society of America**, v.69, n.6, p.825-829, 1976.

WILSON, E.O. **The insects societies**. Cambridge: Belknap Press, Harvard University, 1971. 548 p.

WILSON, E.O. Causes of ecological success: the case of the ants. **J. Anim. Ecol.**, v.56, p. 1-9, 1978.

WILSON, E. O. Caste and division of labor in leaf-cutter ants (Hymenoptera, Formicidae: *Atta*). I: The overall pattern in *A. sexdens*. **Behavioral Ecology and Sociobiology** 7: 143-156. 1980.

WIRTH, R. *et al.* Herbivory of leaf-cutting ants. **Ecological Studies**. 164. Springer, 2003.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C.; MAYHÉ-NUNES, A. J.; MEDEIROS, A. G. B.; SOUZA-SILVA, A. Combate sistemático de formigas-cortadeiras com iscas granuladas em eucaliptais com cultivo mínimo. **Revista Arvore**, 27: 387-392. 2003.

ANEXOS

(TABELAS 15, 16, 17, 18, 19, 15a, 16a, 17a, 18a e 19a)

TABELA 15 – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 0-20 CM DE PROFUNDIDADE (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	36.4440 a	4.1200 a	6.6000 a	0.7800 a	3.4000 a	3.200 a	15.2400 a	71.37484 a	7.3800 a	78.75484 a	8.84700 a
Sem Formigueiros	35.4540 a	4.0600 a	5.2000 a	0.9800 a	2.6000 a	2.800 a	18.1400 a	84.42620 a	6.1000 a	89.75020 a	6.66154 a
F	0.0065 ns	0.5143 ns	0.6533 ns	0.4219 ns	0.1818 ns	0.1081 ns	1.1239 ns	0.5462 ns	0.1620 ns	0.3111 ns	0.6236 ns

TABELA 15a – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 0-20 CM DE PROFUNDIDADE EM PORCENTAGEM (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	103	101	127	80	131	114	84	85	121	88	133
Sem Formigueiros	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
± em %	+ 3*	+ 1*	+ 27*	- 20*	+ 31*	+ 14*	- 16*	- 15*	+ 21*	- 12*	+ 33*

TABELA 16 – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 20-40 CM DE PROFUNDIDADE (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	34.636 a	4.1000 a	7.4000 a	0.6800 a	2.0000 a	2.4000 a	17.6200 a	77.54696 a	5.0800 a	82.62696 a	6.76170 a
Sem Formigueiros	33.270 a	3.9800 a	5.6000 a	0.6200 a	1.2000 a	1.6000 a	20.6600 a	98.54172 a	3.4200 a	101.96170 a	3.30212 a
F	0.0134 ns	1.5319 ns	0.9474 ns	0.0347 ns	1.0000 ns	2.0000 ns	0.5032 ns	1.0942 ns	1.1341 ns	0.8648 ns	4.8713 ns

TABELA 16a – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 20-40 CM DE PROFUNDIDADE EM PORCENTAGEM (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	104	103	132	110	167	150	85	79	149	81	205
Sem Formigueiros	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
%	+ 4*	+ 3*	+ 32*	+ 10*	+ 67*	+ 50*	- 15*	- 21*	+ 49*	- 19*	+ 105*

FONTE: O autor (2011)

* Acréscimo ou decréscimo do fator analisado em relação às áreas sem a ocorrência de formigueiro, quando comparado com as áreas com ocorrência de formigueiros.

TABELA 17 – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 40-60 CM DE PROFUNDIDADE (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	33.37800 a	4.12000 a	4.60000 a	0.66000 a	2.20000 a	1.80000 a	15.64000 a	75.77970 a	4.66000 a	80.43970 a	6.39356 a
Sem Formigueiros	33.03400 a	4.04000 a	5.20000 a	0.60000 a	1.00000 a	1.20000 a	19.58000 a	98.81430 a	2.80000 a	101.61430 a	2.89560 a
F	0.0105 ns	1.0667 ns	0.5143 ns	0.0887 ns	2.2500 ns	2.0000 ns	2.1095 ns	2.4487 ns	2.5806 ns	2.1900 ns	3.2859 ns

TABELA 17a – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 40-60 CM DE PROFUNDIDADE EM PORCENTAGEM (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	101	102	88	110	220	150	80	77	166	79	221
Sem Formigueiros	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
%	+ 1*	+ 2*	- 12*	+ 10*	+ 120*	+ 50*	- 20*	- 23*	+ 66*	- 21*	+ 121*

TABELA 18 – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 60-80 CM DE PROFUNDIDADE (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	31.39800 a	4.14000 a	5.80000 a	0.70000 a	1.20000 a	1.60000 a	15.60000 a	81.69528 a	3.50000 a	85.19528 a	4.14320 a
Sem Formigueiros	29.25200 a	4.06000 a	6.00000 a	0.42000 a	1.00000 a	1.60000 a	18.48000 a	88.04172 a	3.02000 a	91.06172 a	3.38680 a
F	0.1994 ns	1.5238 ns	0.0426 ns	1.1988 ns	1.0000 ns	0.0000 ns	1.0452 ns	0.2589 ns	0.5628 ns	0.2121 ns	1.3391 ns

TABELA 18a – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 60-80 CM DE PROFUNDIDADE EM PORCENTAGEM (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	107	102	97	167	120	100	84	93	116	94	122
Sem Formigueiros	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
%	+ 7*	+ 2*	- 3*	+ 67*	+ 20*	0 *	- 16*	- 7*	+ 16*	- 6*	+ 22*

FONTE: O autor (2011)

* Acréscimo ou decréscimo do fator analisado em relação às áreas sem a ocorrência de formigueiro, quando comparado com as áreas com ocorrência de formigueiros.

TABELA 19 – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 80-100 CM DE PROFUNDIDADE (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	26.63800 a	4.12000 a	6.80000 a	0.62000 a	1.20000 a	1.40000 a	13.18000 a	72.88230 a	3.22000 a	76.10230 a	4.26642 a
Sem Formigueiros	24.72800 a	4.12000 a	5.60000 a	0.32000 a	1.00000 a	3.00000 a	14.04000 a	71.86800 a	4.32000 a	76.18800 a	5.46742 a
F	0.1942 ns	0.0000 ns	1.2000 ns	2.6627 ns	1.0000 ns	1.5422 ns	0.0891 ns	0.0061 ns	71.86800 a	0.0000 ns	0.9125 ns

TABELA 19a – RELAÇÃO DE MACRONUTRIENTES E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SOLOS NA AUSÊNCIA E PRESENÇA DE FORMIGUEIROS DE 80-100 CM DE PROFUNDIDADE EM PORCENTAGEM (CURITIBA, 2011).

TRATAMENTOS	M.O. g/dm ³	pH	P mg/dm ³	K mmolc/dm ³	Ca mmolc/dm ³	Mg mmolc/dm ³	Al mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	S.B. mmolc/dm ³	C.T.C. mmolc/dm ³	V% %
Com Formigueiros	108	100	121	194	120	47	94	101	75	100	78
Sem Formigueiros	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
%	+ 8*	0*	+ 21*	+ 94*	+ 20*	- 53*	- 6*	+ 1*	- 15*	0*	- 22*

FONTE: O autor (2011)

* Acréscimo ou decréscimo do fator analisado em relação às áreas sem a ocorrência de formigueiro, quando comparado com as áreas com ocorrência de formigueiros.

ns não significativo ($p \geq .05$)

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

